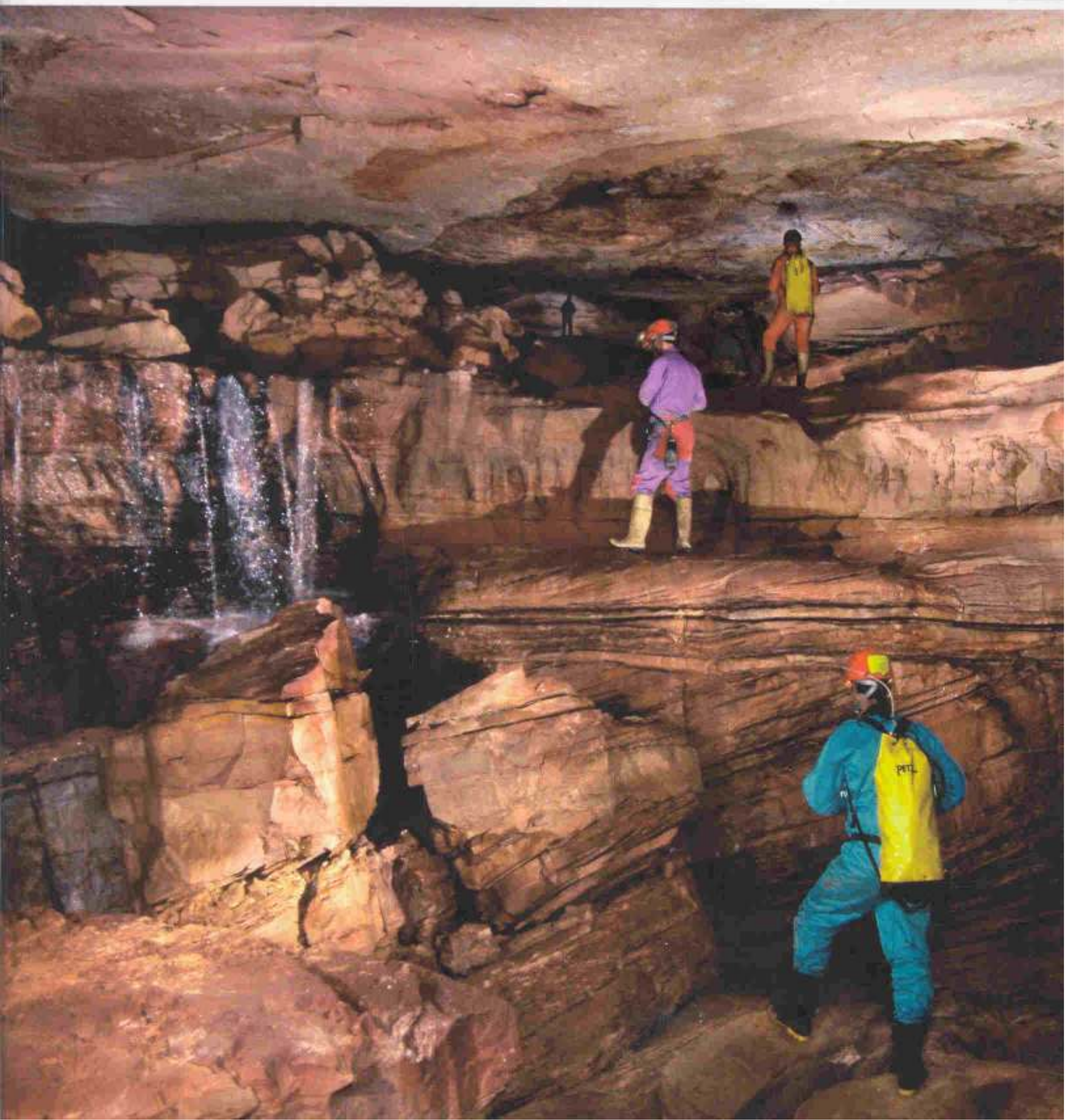
38 Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología

Caracas, Diciembre 2004
ISSN 0583 - 7731



Dirección de la sede:
SOCIEDAD VENEZOLANA DE ESPELEOLOGIA
Av. Caurimare, Residencias Yoraco, sótano LE,
Colinas de Bello Monte, Caracas.
(Reuniones todos los miércoles de 7 a 10 pm)

Dirección postal:
Sociedad Venezolana de Espeleologia
Apartado 47.334, Caracas 1041-A, Venezuela.
Teléfono: (212) 730.64.36 Fax: (212) 272.07.24
Correo-e: svespeleo@cantv.net

Los artículos de este *Boletín,* dependiendo de su contenido, aparecen indizados en las publicaciones indicadas a continuación: *Speleological Abstracts* de la Unión Internacional de Espeleología, Suiza; *Bibliography and Index of Geology* y *Georef* del American Geological Institute; *Geo Abstracts* de Elsevier, Holanda; *Current Geographical Publications* de la American Geographical Society; *Mineralogical Abstracts*, Inglaterra; *Zoological Record*, Biosis, Inglaterra; *Bulletin Signalétique*, Centre National de la Recherche Scientifique, Francia; *Antropológica*, Fundación La Salle, Caracas, Plataforma Scielo, Fundasinadib.

El ***Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología*** se publica anualmente por los miembros de la misma en Caracas, D.F., Venezuela. El *Boletín* está abierto a todos aquellos trabajos de interés espeleológico, particularmente de la región neotropical. Los originales para publicación, catastro, revisión de libros y bibliografías, deben enviarse a la Comisión Editora, habiendo seguido, previamente, las pautas expuestas en las «Instrucciones a los autores», que aparecen en la última página de este *Boletín.* Todos los originales y correspondencia deben enviarse a:

Comisión Editora, Sociedad Venezolana de Espeleología

Apartado 47.334, Caracas 1041 A, Venezuela

La Comisión Editora agradece a los siguientes árbitros por su participaron en la revisión de los artículos de los boletines Nº 37 y Nº 38: Storrs Olson (Smithsonian Institute), Eduardo Tonni (Museo de La Plata, Argentina), Rafael Gasson (IVIC), Greg McDonald (Nacional Park Service, EEUU), Erika Wagner (IVIC), Alfredo Carlini (Universidad Nacional de La Plata, Argentina), Sebastián Grande (UCV) y Manuela Billaudot.

El *Boletín* es gratuito para todos los miembros que se encuentren al día en sus cuotas. El costo de un ejemplar es de US$ 15, incluyendo los gastos de envío al extranjero. Toda información concerniente a suscripciones debe ser solicitada a la Sociedad Venezolana de Espeleología, Apartado 47.334, Caracas 1041-A, Venezuela o por fax al (58-212) 272.07.24.

Los costos de edición de la versión electrónica de este boletín han sido subvencionados por la Gerencia de Proyectos de Investigación y Desarrollo del Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT)

Diagramación: Yelitza Velásquez
Impreso en Gráficas León S.R.L. en diciembre de 2005
Separación de colores: Fotolito Tamarit, C.A.
Depósito legal: pp. 196703DF15 (Biblioteca Nacional, Caracas).
ISSN 0583-7731

Portada: Galería del Río, Sistema Roraima Sur (Bo.93). Esta cueva constituye la caverna en arenisca de mayor desarrollo en el mundo con sus 10.820 m.

Foto: Rafael Carreño

GEOMORFOLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL SISTEMA RORAIMA SUR, VENEZUELA, LA MAYOR CAVIDAD DEL MUNDO EN CUARCITAS: 10,8 km

Carlos GALÁN [1,2], Francisco F. HERRERA [1,3] & Rafael CARREÑO [1]
[1]Sociedad Venezolana de Espeleología, Apartado 47.334, Caracas 1041-A, Venezuela;
[2]Sociedad de Ciencias Aranzadi, Alto de Zorroaga, 20014 San Sebastián, España. Correo-e: cegalham@yahoo.es
[3]Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Apartado 21827, Caracas 1020-A, Venezuela.

Recibido en abril de 2005

RESUMEN

El Sistema Roraima Sur, situado en la cumbre del tepuy Roraima (Guayana Venezolana), posee 10,8 km de desarrollo de galerías y constituye actualmente la mayor caverna del mundo en cuarcitas. La caverna se ha formado en cuarcita y otras rocas silíceas pertenecientes al Grupo Roraima, de edad Precámbrico (Proterozoico). El desarrollo de la cavidad es el producto de características topográficas, litológicas, hidrológicas y estructurales particulares que, unidas todas ellas, facilitan el establecimiento de un sistema de drenaje subterráneo de gran magnitud. Esto permite explicar parcialmente por qué en los tepuys existen grandes extensiones primariamente impermeables junto a otras karstificadas, aunque en ambos casos parece estar involucrado el mismo tipo de rocas. Este aspecto constituye una notable diferencia con el karst clásico en calizas. En el Sistema Roraima Sur, las aguas subterráneas han disuelto la roca aprovechando zonas de debilidad litológica, constituidas por niveles delgados de limolitas y lutitas, interestratificados en las cuarcitas, no obstante, se describen otros elementos geohidromorfológicos que han determinado el desarrollo de esta cavidad.

Palabras clave: Karst en cuarcitas, geomorfología, hidrología, Guayana venezolana.

ABSTRACT

Geomorphology and hidrology of Roraima Sur system, Venezuela: the longest cave of the world in quartzite.

The Roraima Sur Cave System, located in the summit of tepuy Roraima (Venezuelan Guayana), has 11 km of passage development. This cave is the world longest developed in quartzite. The cave opens in quartzite and related siliceous rocks of the Roraima Group of Precambrian (Proterozoic) age. The cave formation is the consequence of particular topographic, lithologic, hydrologic and structural features, that combined, have promoted the development of an extensive underground system. This unusual situation partially explains the coexistence on tablemountains of impermeable areas together with karstified sectors, despite the apparent presence of the same kind of rocks. This aspect is notoriously different from classical limestone karsts. The groundwater has dissolved the quartzite bedrock utilizing zones of lithological weakness, constituted by thin beds of limolite and shale interstratified in the quartzite series, however, other geohydromorphologycal features are involved and described in the present note.

Key words: Quartzite karst, geomorphology, hydrology, Venezuelan Guayana.

INTRODUCCIÓN

En el Sur de Venezuela aflora parte del Escudo de Guayana, constituido por rocas ígneo-metamórficas con edades tan antiguas como 3,4 Ga (1 Ga = mil millones de años) y cubiertas discordantemente por arenitas cuarcíferas del Grupo Roraima, con edades de 1,8 a 1,5 Ga (Precámbrico, Proterozoico). Estas rocas sedimentarias han estado sometidas a un metamorfismo de bajo grado (URBANI *et al.* 1977).

La morfología típica de los afloramientos del Grupo Roraima son extensas mesetas de cumbre plana, contorneadas por escarpes o paredes verticales de hasta más de 1.000 m de desnivel, donde se encuentran las mayores cascadas del mundo (e.g. Salto Ángel, 978 m). La litología predominante del Grupo Roraima son cuarzo arenitas (denominadas también cuarcita debido a presentar metamorfismo de bajo grado) en las cuales los granos individuales de cuarzo son unidos por un cemento también silíceo, fundamentalmente sílice autigénico, lo cual constituye una diferencia con zonas europeas donde existen cuevas en areniscas, pero éstas son calcáreas o están relacionadas con rocas carbonáticas (URBANI 1986). Minoritariamente las cuarcitas del Grupo Roraima también incluyen rocas silíceas relacionadas, como arenitas líticas, feldespáticas, subarcosas, wacas cuarzosas, lutitas y limolitas interestratificadas (REID 1972; SIMÓN *et al.* 1985).

Estas rocas tradicionalmente eran consideradas insolubles y, por lo tanto, no aptas para la formación de cuevas. Pero en las últimas décadas se han ido descubriendo y explorando gran número de simas y cuevas (COLVÉE 1973, GALÁN 1982, 1983, 1986, 1995, GALÁN & LAGARDE 1988, SVE 1976, 1977, 1986, SZCZERBAN *et al.* 1977, URBANI 1981, 1986, UBANI & GALÁN 1987, URBANI *et al.* 1976). Cavidades en rocas similares han sido descritas también de Sudáfrica (MARTINI 1981, 1982) y Brasil (AULER & RUBBIOLI 2003, CARREÑO *et al.* 2002, DUTRA 1997, RUBBIOLI 2003).

La mayoría de las cavidades hasta ahora conocidas en cuarcitas son simas, muchas de ellas de considerable desnivel (hasta -481 m: Gruta do Centenario, Brasil) y algunas formando simas gigantes, de considerable volumen interno, como las simas de Sarisariñama (-314 m) (en el tepuy del mismo nombre), Aonda (-383 m) y Auyán-tepuy Norte (-320 m) (en el Auyán-tepuy). Las

exploraciones, reconocimientos y el análisis de fotografías aéreas han mostrado la posibilidad de existencia de cavidades en la mayor parte de las mesetas del Grupo Roraima, pero en general las cavidades conocidas poseen una extensión lateral pequeña. Excepciones a esto, lo son las simas Aonda y Aonda 2, así como las simas Menor y de la Lluvia de Sarisariñama, todas de más de 1 km de desarrollo de galerías internas, mostrando todas las características típico de karst. El mayor desarrollo hasta 2004 lo poseía la sima do Centenario (Minas Gerais, Brasil), una intrincada red de fisuras verticales y galerías estrechas de 4,7 km de desarrollo espacial (AULER & RUBBIOLI 2003).

Expediciones efectuadas entre 2002 y 2005 por la Sociedad Venezolana de Espeleología (SVE) prosiguieron el estudio de varias cavidades localizadas en años previos por la SVE en la cumbre del tepuy Roraima. Ello condujo a la exploración del presente sistema interconectado de simas y cuevas, de gran extensión lateral. El desarrollo de galerías topografiado alcanza hoy 10.820 m de desarrollo y -72 m de desnivel, habiéndose explorado 400 m adicionales de pequeñas prolongaciones. La caverna, con algo más de 11 km (se trata de una única cavidad, interconectada, con 18 bocas) constituye la mayor cavidad del mundo en cuarcitas.

El sistema posee bocas de moderadas o pequeñas dimensiones, sólo reconocibles mediante la prospección directa. Las bocas quedan además enmascaradas en un abrupto relieve, con gran número de grietas, pequeños cañones y rellenos de bloques. De hecho, 12 de las 18 bocas fueron halladas a partir de la exploración de las galerías internas. La cueva tiene varios cauces de agua subterránea que convergen en un colector, el cual se sume bajo bloques en una amplia galería. Se presume que las aguas subterráneas del sistema emergen a través de surgencias localizadas en la base de la pared exterior del tepuy, a 600-700 m por debajo del nivel de la cumbre; por lo cual, hidrogeológicamente, se trata también de un sistema de gran desnivel.

En algunas de las exploraciones de 2004-2005, la SVE contó con la colaboración de varios integrantes de la Sociedad de Ciencias Aranzadi (SCA, España) y Oxford University Caving Club (OUCC, Inglaterra).

Durante los trabajos de exploración y topografía efectuados durante estas expediciones, los autores tomaron un conjunto de datos geomorfológicos e hidrológicos, cuyos resultados presentamos en esta nota.

CONTEXTO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO

La zona de estudio, en la cual se localiza el Sistema Roraima Sur, está situada en la parte central sur de la cumbre de Roraima, relativamente próxima a la gran pared o escarpe sur de la meseta. Las coordenadas, topografía y descripción física de la cavidad son dadas en la sección Catastro Espeleológico de Venezuela, de este mismo Boletín.

El tepuy Roraima alcanza una elevación máxima de 2.810 m s.n.m. y en su centro se localiza la frontera triple Venezuela - Brasil - Guyana. La aproximación para acceder a la cumbre es larga (2 días de marcha) y salva 40 km de distancia y 2.000 m de desnivel. La cumbre, de unos 15 por 10 km de extensión, posee una topografía relativamente plana, a 2.700 - 2.800 m de altitud, pero es muy intrincada en sus detalles. Junto a zonas de relieve suave, se presentan otras profundamente disectadas por fisuras y grietas, que siguen el patrón estructural de fracturamiento, y pequeñas mesetas o buttes que llegan a elevarse 50 m sobre las zonas planas circundantes. La parte sur de la meseta, enteramente en territorio venezolano, drena hacia la cuenca del río Caroní, afluente del Orinoco. Precisamente sobre el borde sur se localizan las mayores elevaciones de la cumbre. Este borde presenta un tramo central muy compacto, sector donde se localiza la cavidad, mientras que a E y O el borde está intensamente fracturados por grietas y cañones, que profundizan verticalmente cientos de metros, como puede apreciarse en las paredes externas.



Pared Oeste del Roraima, donde destaca la rampa de acceso al tepuy (Foto: R. Carreño).

El Grupo Roraima fue subdividido estratigráficamente en cuatro formaciones (REID 1972) y la mayor parte de sus afloramientos se concentra en la cuenca Caroní - Paragua, siendo la región del monte Roraima su localidad tipo. Las altas mesetas de cuarcita del Grupo Roraima se desarrollan en la Formación Matauí, de unos 1.000 m de espesor, la cual ocupa el techo de la serie. Las rocas que componen esta formación son cuarzo arenitas (cuarcitas), wacas cuarzosas, sublitarenitas y subarcosas (BRICEÑO & SCHUBERT 1992), con abundante estratificación cruzada, depositadas en ambientes continentales costeros, fluviales y deltaicos. La fuente de estos sedimentos se encontraba hacia el NE y SE del Escudo de Guayana, probablemente en Africa Occidental (antes de la apertura del Atlántico). Debido a la erosión del Escudo de Gondwana Norte, de poca inclinación, la erosión ha removido preferencialmente las rocas de los anticlinales, que hoy forman las zonas bajas alrededor de las mesetas. Los tepuys constituyen remanentes de grandes sinclinales erosionados, puestos en relieve por inversión topográfica (Fig. 1) (SCHUBERT 1984, SCHUBERT &

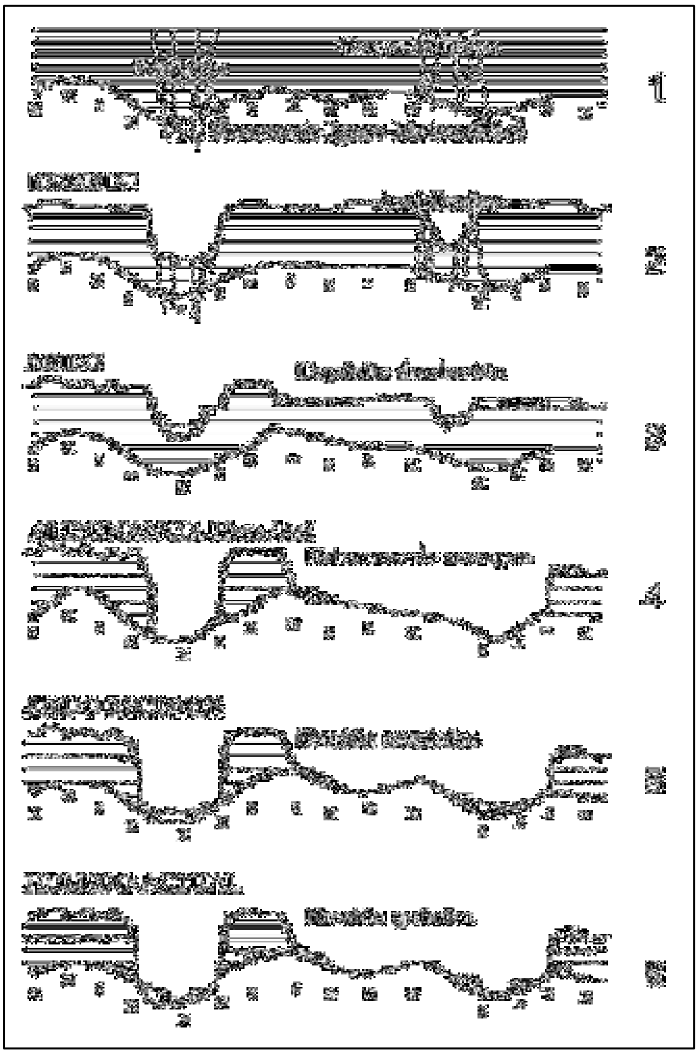


Fig. 1. Hipótesis de la evolución geomorfológica del paisaje tepuyano. 1. Deposición sobre un basamento igneo-metamórfico de sedimentos continentales deltaicos agrupados dentro del Grupo Roraima, de edad Precámbrica (Proterozoico). Los estadios 2-4 representan la remoción de extensos anticlinales desmantelados por la erosión en períodos alternantes de aridez y humedad, donde además se dieron procesos de deposición de aluviones. Más recientemente (5-6), durante el Cuaternario, la alternancia de climas secos y húmedos, asociados a las épocas glaciales e interglaciales respectivamente, han modelado la fisionomía de las cumbres y los escarpes constituyendo las formas que hoy en día conocemos. Una descripción más detallada de esta hipótesis está disponible en Schubert (1984).

Huber 1989). Desde el Precámbrico, el modelado de las rocas expuestas de la Formación Matauí ha sido intenso, logrando disectar estas rocas casi insolubles y extremadamente resistentes y, de esta forma, generar parajes únicos en el planeta. La superficie de erosión Auyán-tepuy, que corresponde a los topes de las altas mesetas de la cuenca del Caroní, entre 2.000 y 3.000 m de altitud, ha seguido siendo erosionada hasta el presente. El grado de disección es muy avanzado, principalmente a lo largo de los grandes sistemas de fracturas verticales, y ha ocurrido por procesos activos de solución química del cemento que une las partículas arenosas que forman la roca y su desintegración o transporte posterior (Schubert & Huber 1989). El mismo proceso de arenización de las cuarcitas (Martini 1982), unido a la formación de conductos por tubificación («piping») (Urbani 1986), es responsable de la formación de cavernas en esta litología.

El Grupo Roraima ha sido intrusionado entre 1,7 y 1,5 Ga por cuerpos de diabasa de afinidad toleítica, los cuales se presentan como cuerpos discordantes (diques) y concordantes con la estratificación (sills), de grandes dimensiones (Aguerrevere *et al.* 1939). Hasta 1992 se creía que las diabasas intrusivas estaban limitadas a las formaciones del Grupo Roraima infrayacentes a Matauí, pero en varios tepuys del macizo de Chimantá y en el Auyán-tepuy se encontraron cuerpos de diabasa que intrusionan las rocas de la Formación Matauí a diferentes niveles. También se halló en el tepuy Akopán una unidad de lutita roja pirofilítica, intercalada en las cuarcitas de Matauí. Debido a que la reacción metamórfica para generar pirofilita, a partir de cuarzo y caolinita, requiere de por lo menos 3.000 m de enterramiento (Urbani *et al.* 1977), este dato evidencia que al menos 3 km de espesor de rocas del Grupo Roraima han sido erosionados desde el Precámbrico hasta el presente (Briceño & Schubert 1992). La superficie actual de las cumbres de los altos tepuys es en consecuencia el remanente de un largo proceso erosivo que acompañó al ascenso tectónico del Escudo (Schubert *et al.* 1986).

El espesor máximo preservado de rocas del Grupo Roraima ha sido estimado en 4.000 m (Briceño & Schubert 1992, Yánez 1985). Dentro del grupo, la Formación Matauí -que corona la serie- posee una potencia máxima del orden de 1.000 m y es la principal unidad formadora de escarpes (Reid 1972). Los altos tepuys normalmente se elevan 1.000 a 2.000 m sobre las zonas bajas circundantes. A los escarpes suceden taludes montañosos y pedimentos que dan paso al relieve de las zonas bajas. En las zonas de talud normalmente aflora la Formación Uaimapué (infrayacente a Matauí), con areniscas cuarzosas y tobas volcánicas (chert y jaspes), intrusionada por espesos cuerpos concordantes de diabasas. Hacia su contacto con la base de la zona de escarpe abundan los bloques de cuarcita caídos desde la parte alta del tepuy. En el tepuy Roraima las paredes externas alcanzan 700 m de desnivel y los taludes (que a veces presentan escarpes menores) se extienden por más de 1.000 m hasta las lomas, cuestas y llanuras de La Gran Sabana, a unos 900 m de altitud promedio en este sector.

Los estudios tectónicos realizados en zonas de tepuy (Briceño & Schubert 1985) indican que las rocas de Roraima han sido sólo levemente deformadas, desarrollándose pliegues amplios con flancos de suave buzamiento, y con longitudes de onda de decenas de kilómetros. Todos los tepuys mayores constituyen pliegues sinclinales en cubeta. Las zonas vaciadas entre ellos corresponden a extensos anticlinales desmantelados por la erosión. Los bajos ángulos de buzamiento han permitido el afloramiento en áreas extensas de un mismo tipo de unidad, que, en el caso de ser resistente a la erosión, tenderá a desarrollar una meseta (Briceño & Schubert 1992).

En las zonas de borde de las cumbres de tepuy se intensifica la fracturación. La meteorización química de las cuarcitas por las aguas de escorrentía, a lo largo de las diaclasas y planos de estratificación, produce el colapso de grandes bloques, controlando el retroceso vertical de los escarpes (POUYLLAU & SEURIN 1985). Es en estas mismas zonas de borde donde habitualmente se encuentran las simas y cavernas.

El mecanismo genético responsable de la formación de cavidades ha sido expuesto por URBANI (1986), GALÁN (1988, 1991) y GALÁN & LAGARDE (1988). La meteorización química de las cuarcitas disuelve el cemento silíceo intergranular haciendo que la cohesión de la roca disminuya exponencialmente; se produce así una decementación o arenización paulatina que torna la roca compacta en friable. En las zonas de borde cercanas a escarpes, donde hay una gran densidad de fracturas que pueden alcanzar mucha profundidad, éstas sirven de vías de penetración para que el proceso de arenización continúe hacia abajo y eventualmente pueda extenderse lateralmente a través de los planos de estratificación (Fig. 2). Cuando la porosa y permeable zona decementada, en torno a las vías de penetración del agua, alcanza o es alcanzada por una superficie abierta (pared exterior del tepuy o superficie de un valle o cañón a una cota inferior) en esta zona de menor cota del sistema empieza a actuar el proceso de formación de conductos (tubificación o piping), el cual podrá avanzar formando galerías en algunas partes del sistema. En un principio éstas podrán funcionar en condiciones freáticas, lo cual facilita aún más la formación de conductos. Posteriormente, al aumentar sus secciones (y/o disminuir el caudal de agua) podrán pasar a condiciones vadosas, donde la erosión y los colapsos pueden ser factores muy importantes para incrementar sus dimensiones (URBANI 1986).

Aunque el modelo expuesto es aplicable a la mayoría de las cuevas conocidas, falta aún investigación adicional para explicar por ejemplo la causa por la cual en algunas cavidades se observan niveles más arenizados que otros a pesar de que aparentemente estaría involucrado el mismo tipo de roca, o cuáles son los factores controladores de la ubicación y trazado de las cavidades conocidas (URBANI 1986).

Los mecanismos invocados para la formación de cavidades en cuarcitas son esencialmente los mismos que intervienen en la génesis de macro y microformas de superficie, residiendo la alternativa clave para explicar el cavernamiento en que se produzca la interconexión subterránea de las zonas arenizadas, y se logre capturar la infiltración vertical, canalizándola subterráneamente, de modo preferente (GALÁN 1988).

Los datos obtenidos en el Sistema Roraima Sur arrojan algo de luz sobre estos aspectos y sobre los factores que intervienen en el proceso de cavernamiento en cuarcitas.

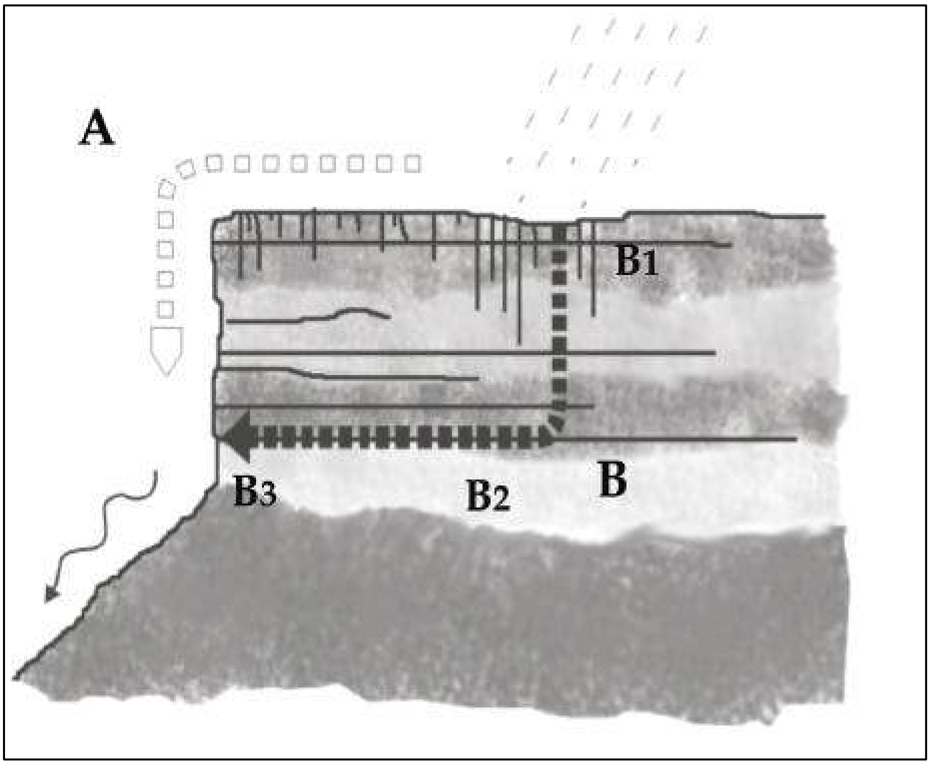


Fig. 2. Esquema de la circulación de las aguas en un perfil de tepuy. Con la letra A se representa el drenaje superficial o epígeo de las aguas provenientes de la precipitación. Este drenaje es el más frecuente y conlleva a la formación de cañones, torres, bloques y demás formas de superficie. Con la letra B se designa a la circulación subterránea o hipógea, que ocurre a favor de fisuras (B_1) y/o estratos de roca más débiles (B_2) y, por medio de la disolución de la roca, da origen al cavernamiento.

RESULTADOS

Observaciones de campo en superficie

La cumbre del tepuy Roraima presenta sus mayores elevaciones topográficas en la parte Sur. Sobre la pared exterior o escarpe Sur se puede apreciar la estratificación, sensiblemente horizontal. La parte central del escarpe (unos 2 km de ancho) es muy compacta, mientras que a E y O la pared está surcada por grandes fracturas verticales. De algunas de ellas se desprenden altas cascadas que proceden de cañones que recortan el borde. En la base de la parte central existe una surgencia caudalosa que emerge de un boquete en la pared formando una cascada de 4 m de altura. Esta surgencia está a unos 600 m de desnivel bajo la cumbre. Por debajo de esta surgencia existen otros manantiales que emergen entre los bloques del talud. En el tope del tepuy, sobre esta parte central, se localiza el sistema de cuevas.

Observaciones más detalladas en cumbre muestran que sobre el borde del escarpe Sur se encuentran las posiciones más elevadas de la serie

estratigráfica, recortadas desigualmente por la erosión del relieve. El buzamiento de los estratos de cuarcita es generalmente NW y de bajo ángulo, comprendido entre 10º y 0º. El buzamiento es mayor cerca del borde y se suaviza y pierde inclinación hacia el N, dando paso a extensas zonas con estratificación horizontal. Existen variaciones locales cerca del borde, probablemente debidas al basculamiento de bloques cortados por fracturas. Así en diversos puntos medimos buzamientos O y N.

Vista la pared exterior de frente, da la impresión de que su parte E buza hacia el tramo central, plano, donde se desarrolla la cavidad, mientras que al O de este tramo el buzamiento es ligeramente hacia el E. Geométrica o espacialmente, nuestras observaciones sugieren que la cavidad se desarrolla hacia la charnela de una amplia cubeta sinclinal, asimétrica. El plano axial del pliegue tiene un azimut N, con ligera pendiente del eje axial hacia el N, donde las capas se tornan horizontales al alejarse de la pared. Este dispositivo estructural es cortado tangencial u oblicuamente por el borde del escarpe S.

Topográficamente la cumbre es muy plana, aunque alterna zonas bajas y planas con pequeñas elevaciones fracturadas. La monotonía sólo es interrumpida por la existencia de una serie de buttes o mesetas-testigo que se elevan unos 50 m sobre las áreas planas circundantes. Estos buttes son como pequeños tepuys en miniatura, es decir, con un área tabular, contorneada por paredes verticales de hasta 20-30 m, y seguidos de taludes inclinados con numerosos bloques desprendidos. Las mayores altitudes del Roraima se alcanzan en las cumbres de estos buttes.

La parte NW de la cumbre, frente al Kukenán, muestra un ligero declive topográfico hacia el E. La estratificación observada en el escarpe NW, bajo el tope, es en bancos gruesos, con estratos individuales de hasta 10 m de espesor. Esto contrasta con el escarpe Sur, donde la estratificación de los tramos superiores es en bancos desiguales pero muchísimo más delgados. En este sector NW encontramos un río epígeo que se sume al alcanzar una grieta vertical paralela al borde NW, a unos 100 m de distancia de dicho borde. En la pared externa se aprecia que mana agua a través de los planos de estratificación, a distintas alturas, pero sin llegar a formas cavidades penetrables. La sima-sumidero por donde desaparece el río tiene en superficie 1 m de ancho por algo más de 5 m de largo, pero a unos 5 m de profundidad se estrecha en grieta impracticable, muy larga pero de escasos 10 cm de anchura.

Esto sugiere que en muchas zonas de borde se establecen pequeñas circulaciones subterráneas, a través de diaclasas y planos de estratificación, pero sin llegar a formar cavidades apreciables. Estas podrán evolucionar generando grietas y cañones abiertos, o el terreno podrá ser desmantelado hasta un estrato límite, sin llegar a formar cavidades. La alternativa opuesta -la formación de simas y cuevas- parece ser la excepción. Por simple lógica, si esta alternativa fuera común, las cavidades serían muy frecuentes, cosa que no ocurre. La arenización de las cuarcitas es así una condición necesaria, pero no suficiente, para la formación de cavernas. Es necesario que predomine la tubificación (piping) sobre la erosión de superficie, para que lleguen a formarse conductos mayores y galerías subterráneas.

Litología y relieve

La zona central del borde Sur, donde está el sistema de cuevas, es el área observada con mayor detalle, pero apenas sobre una franja paralela al borde de 2 km de largo por 1 km de anchura.

Las rocas de la Formación Matauí que afloran en el área alternan dos tipos de unidades litológicas. La primera (U1) está constituida por cuarcitas de grano medio a grueso, en estratos de unos 2-3 m de espesor; algunos de ellos muestran ejemplos de estratificación cruzada linear de ángulo alto y de estratificación cruzada en cubeta. La segunda (U2) está formada por cuarcitas de grano fino a muy fino con estratificación plana delgada; generalmente se dispone en estratos delgados, de 20-30 cm de espesor, pero existen también algunos estratos más gruesos, de hasta 1-2 m de espesor; muchos planos de estratificación presentan rizaduras de oleaje (ripple-marks) características; algunos estratos de la serie presentan también estratificación cruzada planar o laminación gruesa, de ángulo bajo a medio, intercalados entre las cuarcitas de estratificación plana.

Cada unidad tiene una potencia variable (5 a 20 m), y se alternan de modo monótono en la parte superior de la serie de la Formación Matauí. Sobre la zona de las cuevas se distingue una secuencia de cinco unidades U1 y U2. Esta secuencia, vista de lejos, sobre la pared exterior, da en su conjunto la impresión de ser una estratificación delgada, que abarca los 50-100 m superiores de la pared, mientras que por debajo la estratificación parece mucho más gruesa, con estratos individuales de unos 5 m o más de espesor.

Las unidades U1 parecen ser más resistentes a la erosión y soportan en la zona los relieves más compactos y planos de la cumbre del tepuy: tope de buttes o mesas-testigo, tope de zonas intermedias alomadas, plataformas y depresiones de fondo plano con lagunas y turberas. Las unidades U2 son más friables y en ellas la densidad de fracturas es mayor; soportan los relieves más accidentados y caóticos: taludes intermedios entre buttes y zonas planas (con caos de bloques desprendidos de la unidad superior); campos de zanjones y grietas; campos de torrecillas y paisajes ruiniformes (con arcos, puentes de roca, figuras y torres). Algunas de estas últimas presentan un avanzado estado de arenización de las cuarcitas de grano fino y generalmente están coronadas por un estrato muy silicificado más resistente.

El espesor observable de estas unidades en el relieve existente es variable, ya que suelen estar denudadas y rebajadas en distinto grado por la erosión. No obstante, en el perfil superficial, se aprecian numerosos entrantes y salientes en las cuarcitas de estratificación delgada y grano fino, mientras que las unidades de estratos más gruesos y grano grueso presentan paredes verticales o redondeadas más lisas y uniformes, con sólo algunos entrantes (a veces formando abrigos y cornisas) correspondientes a la erosión sobre los planos de estratificación, espaciados unos de otros en varios metros.

Topográficamente, en la zona de las cuevas, existe un alto y extenso butte que sobresale en el relieve (a una cota próxima a 2.800 m s.n.m.) y zonas más bajas con lomas aplanadas que sepa-

ran plataformas y depresiones de fondo plano con lagunas y turberas (unos 50 m más bajas en altitud). Las lomas entre depresiones, subaplanadas o en declive, terminan con pendientes abruptas (de 10 m de desnivel) sobre las planicies deprimidas.

El Subsistema 1 de Roraima Sur se desarrolla preferencialmente en la segunda unidad U2, pero sus dos bocas verticales perforan la unidad U1 suprayacente hasta alcanzar el nivel subhorizontal de galerías. Otras dos bocas horizontales se forman en la primera unidad U2 (bajo la base del butte U1 superior), pero progresan oblicuamente erosionando (al igual que las simas) la segunda unidad U1, de unos 12 m de potencia, para enlazar con la red principal. La mayoría de las bocas se sitúan a menores cotas, drenando dos amplias depresiones de fondo plano instaladas sobre la tercera unidad U1. La red principal de galerías alcanza su punto más bajo al interceptar una pequeña falla de rumbo, dextral, sobre la cual se instala otra de las bocas de sima, que alcanza 18 m de desnivel. El drenaje subterráneo se pierde al otro lado de la falla entre planos de estratificación estrechos e impenetrables, probablemente por ponerse en contacto a uno y otro lado de la misma términos distintos de la serie estratigráfica.

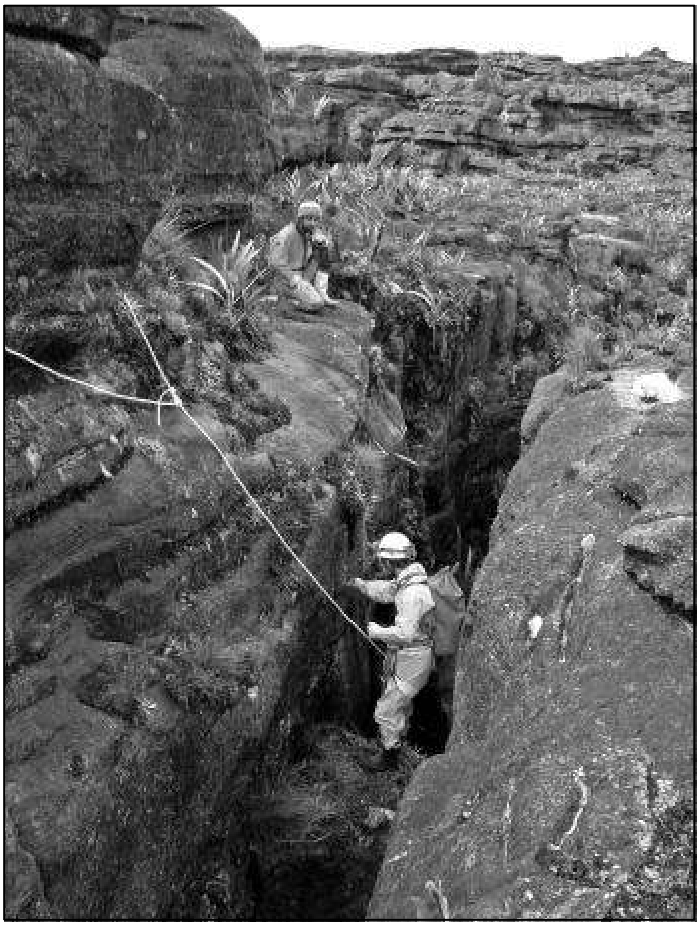
El Subsistema 2 de Roraima Sur se sitúa a unos 200 m al O de este punto y perfora verticalmente la tercera unidad U1. La vertical de acceso (Sima 2), de 27 m, enlaza con otro nivel horizontal de galerías, más bajo topográficamente que el primero, también en cuarcitas de grano fino. Esta sima captura el drenaje de superficie de una depresión de fondo plano (es una sima-sumidero), pero además, en profundidad, la red hídrica subterránea, que es casi horizontal, presenta afluentes subterráneos que proceden de la zona anterior y de otras zonas planas existentes a ambos lados del colector. La horizontalidad mayor del Subsistema 2 hace que presente lagunas y zonas inundadas más extensas que en el Subsistema 1.

El drenaje subterráneo del colector se dirige hacia el W, donde existe una zona deprimida plana, surcada por un cañón y fracturas menores que no alcanzan a interceptar la pared externa del tepuy. Bajo esta zona de fracturas se instala una zona de infiltración vertical (que de momento se ha revelado no penetrable) la cual deriva las aguas subterráneas hacia las surgencias, situadas cientos de metros más abajo.

Descripción de la cavidad

El sistema Roraima Sur constituye una única cavidad, interconectada, con 18 bocas (Fig. 3). Consta de una red predominantemente horizontal la cual sigue el bajo buzamiento de los estratos de cuarcita. El sistema se desarrolla a poca profundidad bajo la superficie, existiendo varias simas, del orden de 30 m de desnivel, que enlazan desde superficie con la red horizontal. Las bocas inferiores, abiertas como ventanas al vacío de la gran pared exterior del tepuy, están hasta a 70 m bajo el nivel de la cumbre.

El sistema posee un total de 18 bocas: 6 bocas de cueva, 8 bocas de sima y 4 bocas abiertas en la pared. Las 6 bocas de cueva y 2 de sima (B1 a B8) permiten acceder al subsistema de cueva 1. Sima 2 constituye el acceso al subsistema 2, el cual posee un total de 6 bocas de sima (S1 a S6) y las bocas (E1 a E4) de la pared exterior (inaccesibles o difícilmente accesibles ya que la pared posee techos extraplomados sobre ellas). Una galería de techo bajo de difícil exploración, que se inunda en caso de crecida, constituye la conexión entre ambos subsistemas (Ver descripción completa y planos de la cavidad en la sección de Catastro).



Equipando una de las simas de acceso al Sistema Roraima Sur (Foto: R. Carreño).

En el interior de la red, hay varias zonas de trazado laberíntico y techos bajos (laminadores) sujetos a inundación total en caso de crecida. Debido a la fluctuante meteorología de la región y a que varias bocas del sistema son importantes sumideros, los ríos subterráneos que recorren las galerías activas tienen una rápida respuesta a las precipitaciones y los caudales de crecida en época seca en el río colector alcanzan más de 1 m^3/s, elevando en varios metros la altura de los lagos interiores e inundando completamente diversas zonas de techo bajo. Pequeñas galerías afluentes, habitualmente secas, llevan agua de modo intermitente, a tenor de la cuantía de las lluvias. Estas variables y el hecho de que algunas galerías tienen zonas con agua todo el año, determina que en las exploraciones llegue a pasarse frío al estar mojados. La dificultad vertical de la cavidad es reducida, limitándose a las simas de acceso y a algunas pequeñas y fáciles escaladas interiores.

El subsistema 1, de 6 km, consta esquemáticamente de 4 grandes galerías, entrelazadas por galerías menores y con redes laberínticas anexas. La boca 1 (boca superior, cota 0) da acceso a una amplia galería fósil (Galería Oeste), que alterna pasos estrechos y se vuelve activa en su mitad inferior, al recibir las aguas que ingresan a través de dos cascadas en su bóveda. La boca 2, tras un salón de entrada en fuerte declive y un conducto estrecho, conduce a una amplia galería fósil, paralela a la principal (Galería Paralela). La boca 3, oculta entre bloques, es el sumidero de una amplia depresión y origina la Galería Central, recorrida por un pequeño río, con diversas cascadas y estanques de agua. Otra amplia galería (Galería Este) captura el drenaje de otra amplia depresión adyacente. Las galerías Paralela y Este convergen con la Central. Las aguas subterráneas desaparecen en sumideros impracticables al alcanzar la base de una boca-sima de -18 m de desnivel (B8, cota -42).

La Galería Oeste enlaza en su parte media con la Galería Paralela a través de un conducto de sinuoso trazado y techo bajo, en el que fue necesario excavar el relleno de arena del suelo para pasar físicamente de una a otra galería. En su prolongación posee además dos conexiones adicionales igualmente estrechas.

La parte final de la Galería Oeste presenta zonas de techo bajo, con agua, en las que se encontró el tramo «clave» que permitió enlazar con el segundo subsistema (Conexión, cota -53). El trazado general de las galerías del subsistema 1 sigue una dirección N.

El subsistema 2, de 4,8 km, consta de dos bocas de sima en paralelo, de -27 m de desnivel y una red laberíntica e inundada inferior. La sima de acceso (Sima 2) drena una tercera zona deprimida y por su boca ingresa una cascada permanente, muy caudalosa en caso de lluvia. Una red horizontal y laberíntica de galerías enlaza ambas simas. Estas galerías aunque amplias son de techo bajo y están inundadas con 1 m de agua. Unos pasos entre bloques permiten acceder a la Galería del Río, que es el colector del sistema.

Río arriba la galería se obstruye, pero una galería en desviación que regresa hacia la sima de acceso presenta un lateral de techo muy bajo que permite alcanzar el paso clave de conexión con el subsistema 1.

Río abajo las aguas reaparecen bajo derrumbes y se accede a una muy amplia galería colectora (Galería del Río). Esta alcanza anchuras de 20 m y presenta grandes lagos o estanques, alternantes con pequeñas cascadas en su recorrido. El trazado de la red pasa a tomar una dirección W-NW. El río recibe diversos afluentes, procedentes de galerías menores. El caudal principal del colector desaparece en varios puntos, a través de fisuras existentes bajo un suelo de bloques de un tramo amplio tipo salón, en la cota -65. No obstante, en la continuación de la Galería del Río aparecen nuevos estanques de agua y pequeños cursos afluentes que forman de nuevo un río, menos caudaloso que el del tramo previo, el cual prosigue 200 m hasta otra zona de sumideros bajo bloques en la cota -72, que constituye el sumidero terminal. Poco después se alcanza una bifurcación desde la que parte una corta galería seca que conduce a la boca principal inferior, E1, cota -70, abierta a una cornisa de la pared exterior.

En su proximidad hay un complejo laberinto de galerías, una de las cuales asciende con varias escaladas hasta otra pequeña boca en la pared (E2).

La Galería del Río presenta en la parte media de su recorrido dos importantes laterales fósiles de dirección S-SE y ascendentes. El primero de ellos (Galería del Merey) asciende hasta un escalón vertical de +6 m, tras remontar el cual se alcanza otra boca en la pared (E3). El segundo (Galería de las Claraboyas) discurre en paralelo y enlaza con el anterior en su parte media. En su recorrido pasa bajo la base de 4 bocas de sima (claraboyas), de 30 a 15 m de desnivel, y asciende hasta una cuarta boca abierta en la pared (E4, cota -37), a poca distancia de un cañoncito de la cumbre.

El subsistema 2 presenta retículos de laterales laberínticos, pero mucho menos extensos que en el subsistema 1. Los situados al N del lateral del Merey drenan una extensa zona plana, fisurada, y aportan importantes caudales en caso de lluvia. Como puede verse las aguas subterráneas del sistema desaparecen bajo bloques y a través de fisuras en dos zonas distintas de sumidero, y reaparecen 700 m de desnivel más abajo, a través de una serie de surgencias situadas en la base y talud de la pared exterior SW.

La red de galerías subterráneas está incluida en un rectángulo de 1.200 x 600 m. Pero si consideramos las áreas planas e impermeables contiguas, cuyo drenaje epígeo es capturado por las bocas-sumidero, el área total del sistema alcanza 2 km^2.

Todas las galerías se desarrollan a expensas de planos de estratificación, siguiendo el buzamiento local de los estratos. En la Galería Oeste del subsistema 1 (que ocupa la posición S más próxima al borde del tepuy) el buzamiento es más acentuado que en el resto de la cueva (12º a 7º). En las otras galerías el buzamiento es progresivamente más suave hacia el N, tendiendo a la horizontal.

Lo más importante a destacar, que se observa en el interior de la cavidad pero no en superficie, es que en las cuarcitas de estratificación delgada se presentan intercalaciones centimétricas a milimétricas de limolitas y lutitas, mucho más friables. Igualmente existen bancos de cuarcita de grano muy fino y con alto contenido en hierro, probablemente también más friables. El residuo de la arenización de estas rocas deja depósitos de arena muy fina de un característico color rojizo, muy abundantes en el plano principal de excavación de laterales en el sector Sur de la cueva, entre las galerías Central y Este. En varios puntos de la galería Paralela y en las cercanías de la boca B7 hay un estrato de 20 cm de limolita claramente muy friable. La caverna parece así excavada a expensas de estas zonas de debilidad litológica, mayoritariamente, y de tramos de cuarcita de grano fino, relativamente más friables que las cuarcitas normales, minoritariamente.

La extensión lateral de estas zonas litológicamente débiles es incierta. La evidencia de su presencia no se observa en toda la cueva, sino localmente. Gran parte de estos niveles pueden ya haber sido removidos al excavarse las galerías, quedando sólo testigos dispersos.

Las aguas de infiltración obviamente han aprovechado también los planos de estratificación. Es apreciable en muchos sitios que la estratificación delgada favorece el colapso de estratos del-

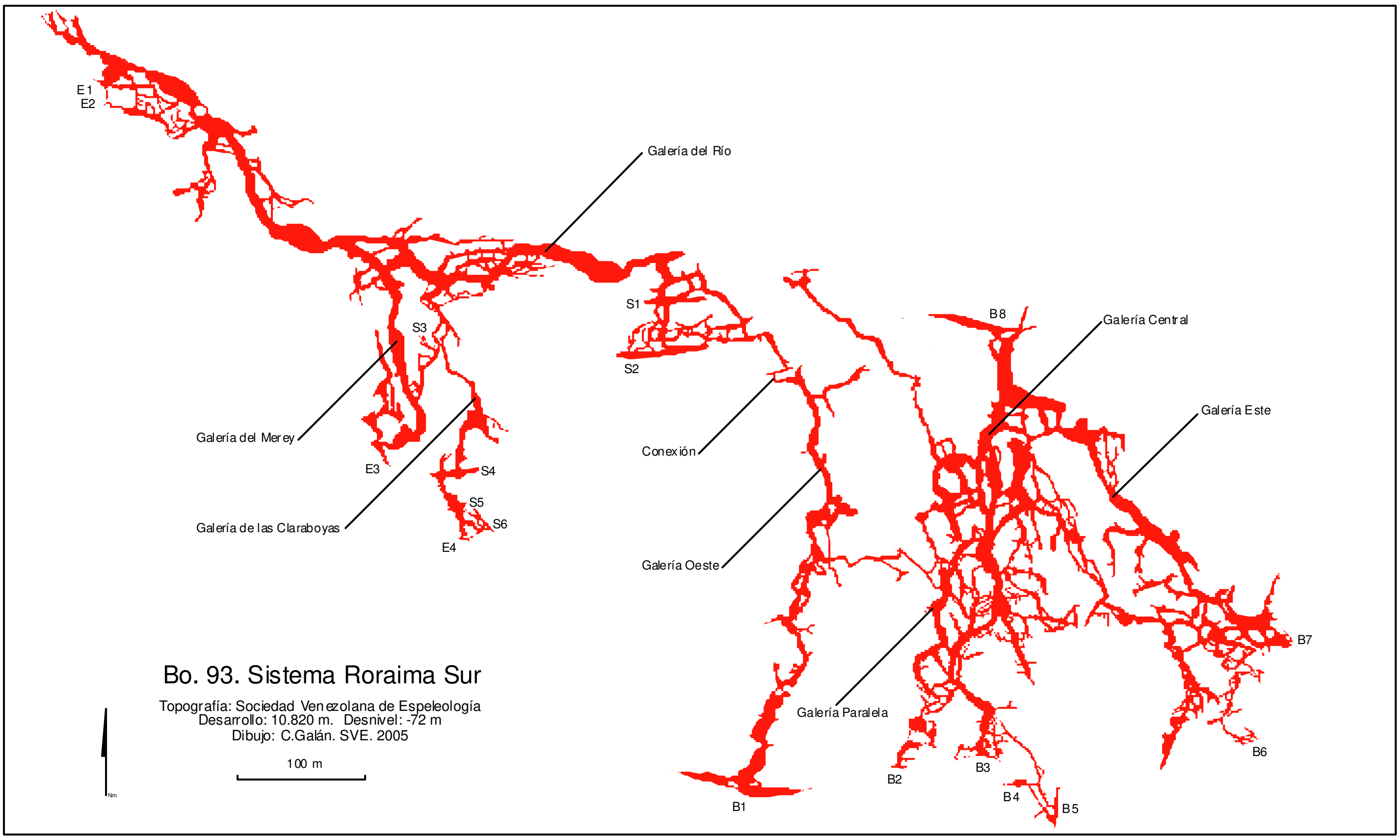


Fig. 3. Mapa esquemático de la planta del Sistema Roraima Sur, mostrando las principales galerías y accesos.

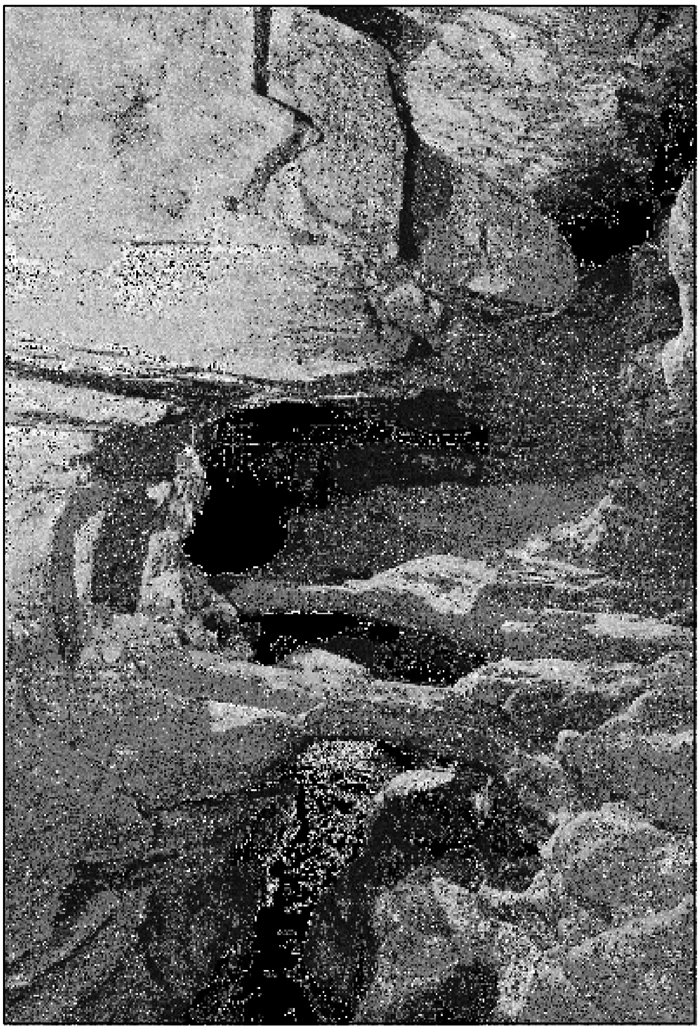
gados del techo, cuando la galería se amplía mucho hacia los lados. En las galerías quedan innumerables testigos de estos colapsos, y resulta también obvio que, si existe circulación hídrica en la base, las aguas circulantes pueden disolver y desintegrar los estratos caídos, facilitando la ampliación volumétrica de la cavidad.

Morfología subterránea

La cavidad se asemeja a una típica cueva en calizas, con la singularidad de que presenta un predominio de galerías de sección rectangular (más anchas que altas, con techos y suelos planos), debido a la intersección de la estratificación horizontal con el diaclasado. Existen no obstante, galerías tubulares de pequeño diámetro y otras grandes, con bóvedas en arco o en domo, que han evolucionado por colapso de los estratos del techo hasta alcanzar un perfil de equilibrio. La cueva presenta numerosas formas de disolución y colapso, rellenos de arena (en las galerías fósiles), e innumerables y diversas espeleotemas de ópalo y goethita, y probablemente también de cuarzo, calcedonia y calcita.

Es destacable un modelado de formas suaves, redondeadas, sobre todo en las galerías o partes de éstas que presentan actividad hídrica. Los suelos de roca planos son predominantes en las galerías principales. En algunos sitios, como ocurre también en los ríos de superficie del tepuy, existen pozas, marmitas de gigante, cubetas en forma de ollas y pequeños agujeros, producto tanto de disolución como de erosión turbillonar, algunos de ellos con el fondo lleno de cristales de cuarzo poco rodados de tamaño centimétrico. Otras formas observadas en las galerías hidrológicamente activas incluyen arcos y puentes de roca. Este conjunto de formas suaves, redondeadas y pulidas, parece ser el resultado de la disolución de la roca pero a la vez de la abrasión mecánica de los granos de arena transportados por las aguas durante los eventos de crecida.

Aunque resulta evidente la influencia del diaclasado en el colapso de estratos, la topografía de la red no sigue un patrón de diaclasamiento. O éste es tan heterogéneo y variable entre los distintos paquetes de la serie estratigráfica que no impone trazados rectilíneos. Si bien es cierto que muchos tramos topográficos siguen direcciones NNE y NW, con azimut muy variables, existiendo tramos N, W, o con las direcciones más diversas. La evolución de los conductos ha desdibujado los contornos, dando por resultado una red laberíntica. Existen además zonas con gran densidad de pilares de roca, aparentemente excavadas en régimen freático, a expensas de la estratificación, sin orientación predominante.



Puentes de roca en sucesión a lo largo de la Galería Central en el subsistema 1 (Foto: R. Carreño).

Las secciones típicas de galerías en ningún caso son estrechas y altas, siguiendo diaclasas verticales, con la excepción de las bocas de sima, invariablemente estrechas y muy largas (hasta 50 m de largo para 1-2 m de anchura). Siete de las ocho bocas de sima se orientan sobre fracturas E-W. Formas curiosas de disolución, encontradas sólo en la proximidad de la boca B3 de la Galería Central, incluyen simas o agujeros, de hasta 4 m de desnivel, excavados sobre diaclasas verticales de orientación SSW-NNE. De hecho la corriente de agua que penetra en esta boca excava su cauce a expensas de una de estas diaclasas, existiendo otras paralelas rellenas de agua. Pero el drenaje no prosigue a través de ellas, sino que cambia de dirección y circula siguiendo un plano de estratificación más bajo. Es decir, estas diaclasas han sido ampliadas sólo al perforar este estrato, y son un accidente transversal menor que corta la galería, pero sin continuación; las aguas las aprovecharon para profundizar verticalmente en la serie, pero las abandonaron para circular a expensas de planos de estratificación. Lo que confirma que son estos últimos los que ejercen un control estructural sobre el drenaje subterráneo.

La cavidad tiene un perfil longitudinal subhorizontal, concordante con el suave buzamiento de las capas, y se torna prácticamente horizontal sobre largos tramos en su parte N. A lo largo de 1.200 m de extensión de la red, el desnivel es de 72 m. La Galería del Río desciende sólo 16 m a lo largo de 600 m de extensión.

El perfil longitudinal de la galería principal muestra un encajamiento progresivo del cauce, como ocurre también en cauces permanentes en la superficie del tepuy, presentando pequeños escalones a lo largo del recorrido, los cuales entallan la serie estratigráfica. En muchos puntos se forman pequeñas cascadas escalonadas, de varios centímetros hasta 1 m de altura. Sólo en un punto del recorrido del subsistema 1, donde se ha formado una sala amplia, existe un escalón con cascada de 5 m de desnivel.

Donde el trabajo de las aguas ha sido más intenso, han sido entallados los cauces, dejando colgadas galerías laterales, elevadas unos metros con respecto al nivel actual de circulación del drenaje.

Los rellenos de grandes bloques cúbicos son comunes en todas las entradas de cueva y se generan por el colapso de los estratos gruesos que forman el techo de la cavidad. Ya ha sido indicado que el drenaje epígeo pasa a las galerías interiores a través y bajo ellos. En el interior de la cueva hay también tramos con rellenos de bloques formados por colapso de paredes y techos, más notorios en las salas y ampliaciones mayores. Pero existen también, y de hecho son más abundantes en todas las galerías, los colapsos de estratos delgados, centimétricos, que generan lajas y bloques tableados.

En las galerías de pequeña sección, y en muchos laterales hoy inactivos, los suelos poseen extensos rellenos de arena fina, evidencia del proceso de arenización de las cuarcitas por disolución intergranular.

Como la circulación vadosa actual ejerce su poder erosivo a nivel del suelo y base de las paredes, muchos perfiles están excavados también en escalera, positiva o negativa. En las zonas de mayor actividad hídrica, la disolución degrada los bloques desprendidos y el flujo transporta y evacua los rellenos detríticos, dejando de esta forma grandes suelos de roca lisa, constituidos por el estrato resistente por donde circula el agua. Esto es particularmente notable en la gran Galería E y en la Galería del Río.

Entre los depósitos secundarios de la cavidad se encuentran espeleotemas. Estas son relativamente abundantes -para cuevas en cuarcitas- y diversas. Su mineralogía está actualmente en estudio, sin embargo, resultados preliminares son mostrados en Carreño (2004, este mismo ejemplar).

En la cueva son observables también diversas estructuras primarias de las cuarcitas de grano fino, especialmente rizaduras. Estos se observan tanto en la roca caja que constituye el suelo o el techo de la cueva como sobre planos de estratificación de bloques desprendidos. Localmente, en la serie de cuarcitas de grano fino, se observan intervalos con estratificación cruzada planar de ángulo bajo a medio, intercalados entre tramos con estratificación plana en unidades delgadas.

En la superficie, sobre las zonas que forman lomas aplanadas entre depresiones, es frecuente que algunas diaclasas verticales

hayan sido ampliadas formando corredores. El paquete superior es de cuarcitas de grano grueso aparentemente más resistentes; bajo él las cuarcitas de grano fino y estratificación delgada han sido erosionadas a lo largo del plano vertical hasta otro estrato resistente, donde el corredor se amplía. Estos corredores tienen así la forma de una T invertida, siendo su profundidad media de entre 3 y 10 m, y su longitud desde unos pocos hasta varias decenas de metros. En algunos casos quedan tramos techados que forman cortos túneles a lo largo de los corredores, con ventanas que semejan simas, pero en realidad el drenaje es superficial, limitado a la base de los corredores, donde se concentra el flujo de agua tras las lluvias. Entre las bocas B3 y B7, y en la parte alta de la loma próxima a Sima 2, hay diversos ejemplos de este tipo. Sin embargo, en la red de la cueva infrayacente, las aguas subterráneas han perforado toda la serie, incluyendo varios de los paquetes de estratificación gruesa aparentemente resistentes.

Esta morfología en T invertida se presenta igualmente en la mayoría de las simas. En S1 y S2 por ejemplo, las verticales de 27 m tienen apenas una anchura de 1-2 m. pero en su parte basal se amplían hasta 7-8 m.

Hidrología

El tepuy Roraima está situado a 5º de latitud N, en el denominado Ecuador meteorológico. El régimen de lluvias en la región está comandado por el desplazamiento anual de la ITCZ (Zona de Convergencia Intertropical), una extensa banda de bajas presiones que rodea toda la Tierra y que determina gran parte de la meteorología mundial. La región presenta elevadas precipitaciones, con un período «seco» poco marcado, que abarca los tres primeros meses del año (GALÁN 1984). A pesar de estar en una zona tropical, la altitud de la cumbre determina que las temperaturas sean templadas (aguas subterráneas a 12ºC). En superficie la temperatura ambiente oscila diariamente entre 25ºC y 5ºC por término medio (GALÁN 1992).

Hasta hace poco se estimaba que la precipitación en la cumbre del Roraima era del orden de 4.000 mm/a, pero datos recientes muestran que el área de Roraima - Kukenán constituye uno de los núcleos de altas precipitaciones de la cuenca del río Caroní y recibe 5.700 mm/a (CVG – EDELCA 2004). Las cumbres de estas montañas, expuestas a vientos de componente E (NE a SE), reciben todas las nubes procedentes de las selvas bajas de Guyana. La mayoría de los días del año la cumbre de Roraima permanece cubierta, con frecuentes lloviznas y lluvias, intercaladas con claros en los que la radiación solar incidente es fuerte. La topografía plana y casi enteramente rocosa de la cumbre determina que las aguas de lluvia caídas fluyan con rapidez para generar altas cascadas al alcanzar los bordes de la meseta. Cada km^2 de superficie de cuenca genera un caudal medio de 154 l/s, con puntas de crecida de más de 2 $m^3/s.km^2$.

Durante el período lluvioso los promedios mensuales pueden alcanzar 700 mm/mes. En contraste, durante la época seca el promedio mensual puede descender hasta 60-80 mm/mes, es decir, 10 veces menos. Pero estas cifras expresan sólo valores medios de precipitación. El resultado hidrológico local es aún más contrastante.

Debido a la inexistencia de suelos bien desarrollados sobre el tope del tepuy, la respuesta a las precipitaciones es muy rápida, ya que el agua caída circula sobre suelos de roca impermeable casi sin retardo (las turberas suelen permanecer empapadas y su efecto regulador sobre el flujo del agua es muy pequeño o inexistente). La lluvia caída en un evento de lluvia diario, sobre un área pequeña, fluye laminarmente y se concentra en los puntos de sumidero con gran rapidez, generando crecidas de caudal que sorprenden por su magnitud, incluso en época seca. En las bocas-sumidero del sistema Roraima Sur (S2, B3, B7) normalmente ingresan caudales de estiaje de 10-20 l/s, pero hemos tenido ocasión de observar en la sima S2 crecidas de 400 l/s tras una noche lluviosa en época «seca». El caudal medio del colector subterráneo, estimado en 250 l/s, puede superar 1 m^3/s en tales eventos, pudiendo experimentar crecidas aún más considerables en época lluviosa.

Con tal régimen hídrico puede comprenderse que los ríos subterráneos son altamente competentes para arenizar la roca de las galerías, meteorizar los bloques desprendidos y evacuar los fragmentos detríticos. Las galerías activas de escaso diámetro pueden funcionar en condiciones freáticas parte del año. En las galerías sin circulación hídrica, o donde ésta ocurre de modo intermitente durante eventos de aguas altas, se depositan espesos rellenos de arena, mientras que los cauces activos están casi desprovistos de tales depósitos.

En la zona donde se encuentra la cavidad existen varias áreas de topografía plana y compacta, a distintas alturas. La superior forma una cuenca deprimida (con respecto al relieve adyacente) que es drenada por la boca B3. Una segunda, algo más baja, es drenada por la boca B7. La sima S2 captura una tercera área plana. Y existe aún una cuarta área, situada al N del lateral del Merey y del colector, que captura agua a través de varias fracturas. Adicionalmente, sobre las lomas entre depresiones, existen fracturas menores que capturan el drenaje local de las superficies intermedias. El agua que ingresa formando una cascada en la Galería Oeste, por ejemplo, procede de un pequeño sector en el tope de un butte.

En conjunto, debido a que el borde Sur del tepuy está más elevado y con declive hacia el N, el drenaje superficial no escapa a través de cascadas. En la pared externa, sobre un sector central de algo más de 2 km de ancho, no se aprecian cascadas ni aún durante las lluvias. Tampoco hay ríos superficiales que se dirigen hacia el N. Por todo ello pensamos que el drenaje de toda esta área es esencialmente subterráneo y así lo confirman los ríos observados en el interior de los subsistemas 1 y 2.

El área sobre la red de la cueva es de 1.200 x 600 m. Pero si a ello sumamos las depresiones que drenan hacia las cuevas y las zonas intermedias entre ellas, el área total de alimentación del sistema alcanza 1,5 km^2. Estos datos han sido tomados como base para estimar el caudal medio del colector.

En cuanto a sus propiedades físico-químicas, las aguas de los ríos subterráneos (y también de los superficiales) son ácidas (pH entre 3 y 5), extremadamente pobres en electrolitos y nutrientes, y



Circulación hipógea de las aguas en la Galería del Río (Foto: R. Carreño).

de una gran transparencia debida a la virtual ausencia de sedimentos. En masa toman una coloración té característica («aguas negras» de los ríos de Guayana), debida a ácidos húmicos y fúlvicos aportados por la vegetación. Estas aguas son netamente subsaturadas en sílice (concentraciones medidas en diversos tepuys dan valores de entre 1 y 6 mg/l, con un promedio en torno a 2 mg/l) (Galán 1991). No obstante, la sílice y el hierro pueden migrar a través de planos de debilidad de la roca y precipitar en forma de ópalo y de oxi-hidróxidos de hierro, recementando las cuarcitas en la adyacencia de dichos planos y haciéndolas más resistentes a la erosión. La mejor evidencia de esta movilización y precipitación en las cuevas es la presencia de espeleotemas de ópalo y goethita, y la existencia de planos de estratificación rellenos de costras de ópalo. Probablemente la existencia de conductos y galerías aireadas facilitan la evaporación y precipitación de sílice amorfa en la vecindad de los conductos. Así, de modo similar al karst clásico en calizas, las aguas de infiltración en cuarcitas pueden disolver la roca para formar galerías aéreas y pueden luego precipitar generando espeleotemas y depósitos secundarios.

El sistema subterráneo

El drenaje subterráneo de la cavidad se dirige hacia una zona de fracturas verticales que profundiza en la serie de la Formación Matauí para derivar hacia las surgencias. Esta zona ocupa un área plana deprimida al N del extremo O de la cavidad y está surcada por una zanja o cañón (y otras fracturas anexas) que aparentemente no alcanzan el borde externo. Esa especie de cañón es el sumidero de una amplia cuenca y cuando llueve varios riachuelos caen en cascada a su interior. El sector no ha sido revisado en detalle, como tampoco el área de surgencia, pero está muy próximo a los puntos de sumidero en el interior de la cueva. Es probable que no se trate de un único conducto sino de varios drenes verticales en paralelo. Lo que a su vez podría explicar la surgencia múltiple de las aguas en la zona de talud y base de la pared externa.

Una hipótesis alternativa es que el drenaje subterráneo se dirija hacia el N, hasta interceptar alguna otra pared externa. Creemos que tal hipótesis es poco factible, por varias razones: la gran distancia que existe hasta otros bordes, la horizontalidad de la estratificación al alejarse del borde S, la mayor compacidad y menor fracturación de la roca en las zonas centrales. El gradiente hidráulico tendría que ser muy elevado para permitir una circulación extensa de este tipo.

Lo hasta ahora conocido en las cuarcitas del Grupo Roraima muestra que las cavidades se originan según dispositivos en «reloj de arena» (Urbani 1986), es decir, dispositivos en los cuales la formación de conductos y galerías parece limitarse a sólo algunas partes del sistema, en la zona superficial o en la de surgencia, estando obstruidos o poco desarrollados los conductos en la parte media.

Según las hipótesis clásicas relativas al comportamiento mecánico de las rocas (Renault 1971), en todo macizo elevado sobre los terrenos adyacentes, los fenómenos de descompresión mecánica y apertura de fisuras se presentan en la zona superficial del macizo y se incrementan notablemente en las zonas de borde. En macizos tabulares como los tepuys, la apertura mecánica de grandes fracturas verticales se produce con facilidad por descompresión de la roca al lado de grandes vacíos, como los de los grandes escarpes externos (o grandes cañones internos), pero no en las compactas zonas centrales.

El establecimiento de una red subterránea extensa requiere, desde sus etapas iniciales, que el sistema pueda drenar hacia una zona de surgencia, es decir, que exista una interconexión de las zonas arenizadas para permitir el desarrollo de la tubificación, y esto difícilmente se produce en las cuarcitas al alejarse de las zonas de borde de tepuy. Por todo ello, en nuestra opinión, es muchísimo más factible la primera hipótesis.

En el sistema Roraima Sur, sometido a bruscas variaciones hidrológicas, hay evidencias que permiten postular una evolución del sistema a lo largo del tiempo. Los procesos de arenización de la cuarcita están en relación con el tiempo de residencia del agua en el acuífero y con su flujo o velocidad de renovación. Cuanto mayor es el tiempo de contacto entre la roca y el flujo de agua, más se facilita la disolución intergranular y la evacuación de la sílice disuelta. La tubificación y el transporte de granos de arena y fragmentos detríticos se facilita en las zonas con drenes que concentran el flujo de agua.

Actualmente, en los ríos de régimen permanente en zona vadosa, se ve facilitada la excavación y desarrollo volumétrico de galerías amplias, mientras que en las galerías con pequeños drenajes éste es a menudo en régimen temporal, con un débil flujo laminar y tramos en parte freáticos. Muchas de estas galerías forman afluentes que convergen con los ríos principales a un mismo nivel, mientras que los laterales prácticamente abandonados por las aguas (grandes o pequeños) a menudo han quedado colgadas unos metros por encima de los cauces principales, con toda una serie de situaciones intermedias. Sin embargo, no puede decirse que existan en la red varios pisos o niveles superpuestos de galerías.

Las galerías hidrológicamente inactivas, no han quedado abandonadas por las aguas simplemente al profundizar o entallarse el drenaje subterráneo, sino -sobretodo- porque han perdido sus áreas principales de alimentación como producto del desmantelamiento y/o rebajamiento de superficie, ocurrida al progresar la erosión superficial. Las actuales galerías activas aprovechan, no sólo la infiltración local, sino que capturan el drenaje superficial de áreas deprimidas adyacentes, rebajadas por la erosión de superficie a lo largo del tiempo.

Así, las galerías hoy observables tienen distintas edades. Las galerías activas continúan siendo excavadas hasta el presente, es decir, son galerías actuales, en pleno crecimiento. Las galerías fósiles o inactivas -producto del desmantelamiento del relieve superficial y del retroceso de la pared externa- deben ser más antiguas cuanto más elevada sea la posición que ocupan sus bocas o tramos superiores en la serie estratigráfica.

Si tenemos en cuenta que el rebajamiento de superficie en las cuarcitas de Roraima tiene valores medios del orden de 2 m por millón de años (Galán 1984, 1991, Schubert & Huber 1989) y que la galería más alta (Galería Oeste) está situada a 20-30 m por encima de las principales bocas activas (B2, B7, S2), tal galería -probablemente la más antigua que se conserva del sistema- pudo haberse formado hace más de 10 millones de años. Las galerías de las Claraboyas y del Merey probablemente drenaban superficies hoy desaparecidas por el retroceso de la pared externa y serían también relativamente antiguas.

La edad de inicio de la formación del sistema puede ser considerablemente más antigua (varias decenas de millones de años), habiendo desaparecido parte de la red por el avance de la erosión de superficie. Estos aspectos serán comentados con mayor extensión en otro artículo. Aquí sólo queremos subrayar que existe una estrecha relación entre la evolución del relieve de superficie y la morfología subterránea.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las cavernas exploradas en Roraima aportan datos para seguir avanzando en la comprensión de los mecanismos y procesos que actúan en la formación de cavernas en cuarcitas. Pero a la vez introducen nuevas preguntas.

¿A qué se debe que la red subterránea atraviese unidades que en superficie se comportan como resistentes? ¿Existe realmente una diferencia entre unidades resistentes y no resistentes de la serie estratigráfica, o es esto un artefacto que nada explica? ¿A qué se debe que el cavernamiento se limite a un área, cuando aparentemente el mismo tipo de roca cubre grandes extensiones? ¿Qué factores controlan realmente la ubicación, génesis y trazado de las cavernas en cuarcitas?

A pesar de que han sido postulados modelos explicativos generales sobre el cavernamiento en cuarcitas y de que han sido aclarados algunos mecanismos que intervienen en la formación de cavidades, no comprendemos lo esencial de este proceso, al menos no del modo y con el grado de detalle con que es entendido para el karst clásico en calizas.

Debido a que la disolución intergranular de la cuarcita (arenización) ocurre tanto en superficie como en profundidad, cada vez parece más claro que la formación de cavernas requiere que confluyan una serie de condiciones y factores, que sólo en ocasiones se presentan juntos.

En el caso del sistema Roraima Sur intervienen los siguientes elementos:

(1) El sistema se localiza en una zona que se extiende cerca del borde externo del tepuy.

(2) El buzamiento y la pendiente topográfica tienen una débil inclinación N, es decir, no hacia el borde sino en sentido opuesto.

(3) El sistema discurre subhorizontal a poca profundidad respecto a la superficie (20-50 m) y este espesor de rocas está afectado por fracturas que alcanzan el nivel de las cuevas, facilitando la infiltración.

(4) La mayor parte de la red de galerías se desarrolla en paquetes de estratificación delgada, con intercalaciones centimétricas a milimétricas de limolitas y lutitas, interestratificadas entre cuarcitas de grano fino.

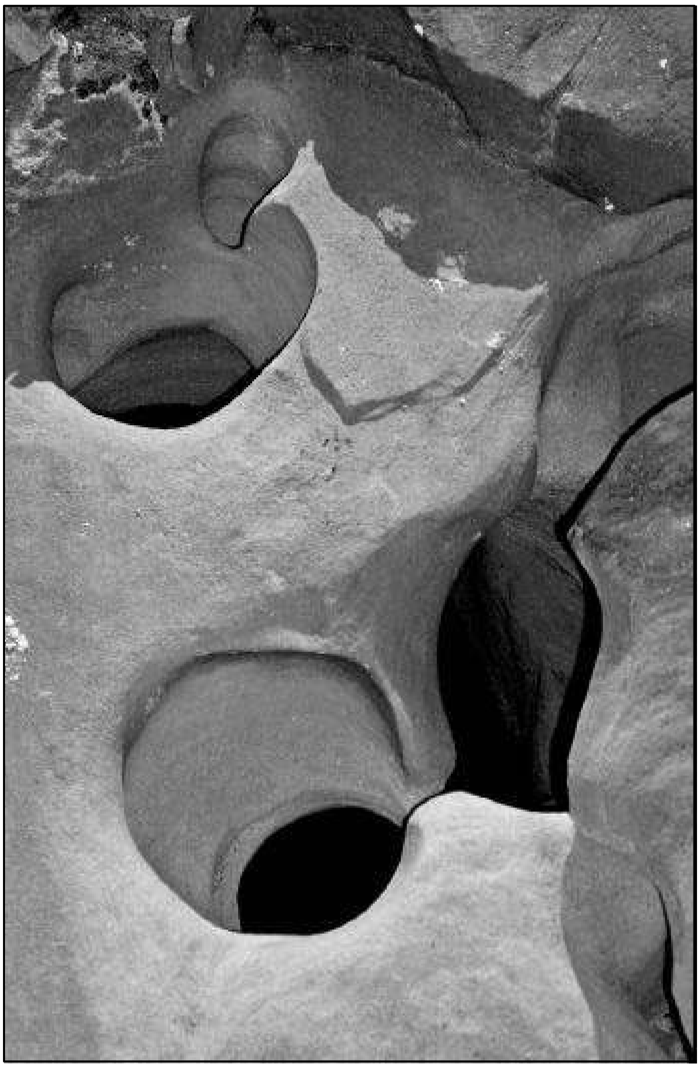
(5) Esto paquetes actúan como un nivel de debilidad litológica. Las cuarcitas a este nivel son muy friables y en la cueva se presentan en un avanzado estado de arenización, aunque en superficie este hecho no ocurre o al menos no es apreciable.

(6) La mayor parte del caudal de agua que ingresa al sistema lo hace a través bocas-sumidero, capturando el drenaje epígeo de varias depresiones de fondo plano.

(7) Estas capturas incrementan el caudal subterráneo y le confieren un régimen perenne, permitiendo un mayor tiempo de contacto roca-agua y un flujo continuado que facilita la evacuación de la sílice disuelta. La acción es comparable a la de la infiltración rápida en el karst clásico en calizas, que otorga a tales aguas una mayor capacidad de disolución en la zona profunda del acuífero.

(8) Este ingreso concentrado de las aguas a través de bocas-sumidero ocurre porque la erosión de superficie ha rebajado diferencialmente el terreno, formando una serie de depresiones de fondo plano cuyas cuencas drenan hacia el sistema.

(9) No menos importante es el hecho de que relativamente cerca existe otra zona, con fisuras verticales extensas, que permiten la evacuación del drenaje subterráneo hacia las surgencias (existencia de un nivel de base local hacia el cual pueda drenar el sistema, condición ésta muy importante desde las fases iniciales).



Marmitas de pocos decímetros de diámetro abiertas en un estrato de arenisca totalmente socavado por el agua (Foto: R. Carreño).

(10) El modelado del Roraima muestra que en los tepuys existen grandes extensiones primariamente impermeables junto a otras intensamente karstificadas, aunque en ambos casos parece estar involucrado el mismo tipo de rocas. Esto constituye una notable diferencia con el karst clásico en calizas.

Así, el dispositivo topográfico, litológico, hidrológico y estructural, presenta un conjunto de peculiaridades que, unidas todas ellas, facilitan el establecimiento de un sistema de drenaje subterráneo de gran magnitud.

Las partes hasta ahora conocidas del sistema forman una caverna ramificada, con galerías de moderado diámetro, de mayor desarrollo que otras cuevas previamente conocidas (como p.ej. Autana, Urutany y Aguapira) y distintas de las grandes simas y cavidades de trazado vertical predominantes en las cuarcitas de Venezuela y Brasil.

Un hecho significativo a señalar es que el sistema no presenta grandes bocas, por lo que no es un tipo de cavidad factible de ser descubierta mediante reconocimiento aéreo. La mayoría de sus bocas está semi-oculta por taludes de bloques o son simas poco notables, que pasan desapercibidas entre muchas otras fracturas y zanjones en un terreno aparentemente monótono. El buzamiento en dirección opuesta al borde del tepuy, la existencia de unidades litológicamente débiles y la cercanía a un escarpe externo hacia el cual pueda drenar el sistema, son condiciones que se pueden presentar sobre grandes extensiones en muchos tepuys, por lo cual este tipo de cavidades puede ser mucho más frecuente de lo que creemos. Las características geomorfológicas que presenta el sistema pueden orientar la prospección y futura búsqueda de cavidades en otras expediciones.

La existencia de niveles litológicamente débiles, y concretamente de limolitas y lutitas, en la serie de cuarcitas de Roraima, ha sido previamente señalada para otras cuevas, como el sistema Guaiquinima o la cueva del Tigre (cerca de Santa Elena de Uairén) (SVE 1977, Szczerban *et al.* 1977, Urbani 1977); intercalaciones menores de estas litologías también han sido observadas a -290 m de desnivel en la sima Aonda Sur 1 (SVE 1986); y tal vez existan otros casos en que su presencia haya pasado desapercibida a los exploradores. En Roraima Sur sólo se observan nivelitos de estas litologías en algunos puntos, no a lo largo de toda la cueva. Creemos que como son rocas fáciles de meteorizar, dejan escasos testigos. Su presencia también puede ser local e inhomogénea. No obstante somos de la opinión de que han jugado un papel de relativa importancia en la excavación de conductos. Es probable que a partir de estas discontinuidades se establezca un nivel freático donde la arenización de las cuarcitas contiguas pueda progresar, y extenderse lateralmente, hasta establecer una interconexión subterránea. Obviamente, el agua de infiltración también aprovechará las zonas estructuralmente débiles, representadas por el diaclasado y los planos de estratificación. La importancia relativa de la intercalación de otras litologías es incierta, pero es razonable postular que, dado que el residuo de la meteorización de las lutitas y limolitas deja fragmentos detríticos más finos que los granos individuales de cuarzo de las arenitas, la tubificación o formación de los primeros conductos puede producirse más fácilmente a expensas de estos niveles. Posteriormente podrá progresar exportando granos de cuarzo y formando drenes y galerías en torno a las vías de circulación del agua.

El papel que juega el diaclasado parece también interesante. Los sistemas de diaclasas tienen distintas orientaciones y a menudo los observados en fotografía aérea no coinciden con los medidos en tierra, ya que sólo las fracturas de gran extensión son observadas preferencialmente por los sensores remotos (Briceño & Schubert 1992). Los espesos paquetes de cuarcitas con estratificación cruzada presentan fracturamiento menos denso y en direcciones preferenciales distintas a los paquetes de unidades con estratificación plana, infrayacentes o supráyacentes. Esto sugiere que la anisotropía original de las rocas, genera el desarrollo de fracturamiento en distintas direcciones. En el área de las cuevas los paquetes de estratificación gruesa presentan menor densidad de fracturas, pero más abiertas. La descompresión mecánica superficial, que facilita la apertura de diaclasas, parece actuar sólo

hasta determinado nivel. En superficie esto es evidenciado por la existencia de redes de zanjones y torres que alcanzan hasta un estrato límite. En el interior de la cueva las diaclasas verticales son utilizadas por las aguas para perforar las unidades de estratificación gruesa, también hasta un nivel, siguiendo luego el drenaje a expensas de la estratificación en las cuarcitas de grano fino.

Estos hechos son llamativos: las ocho bocas de sima conocidas se han abierto a expensas de fracturas verticales, pero en su base no profundizan más allá del nivel horizontal de la cueva. Probablemente porque no tienen continuidad en el siguiente paquete, donde el diaclasado cambia de orientación. La existencia de un virtual nivel límite, sugiere a su vez que las fracturas son utilizables como vías de penetración del agua sólo en los paquetes más superficiales, donde su apertura mecánica está condicionada por la descompresión de la roca (Renault 1971).

Así, en el sistema de cuevas descrito, el diaclasado facilita la infiltración, pero sólo hasta un nivel en el cual la estratificación y las discontinuidades litológicas pasan a ejercer el control principal sobre el proceso de cavernamiento.

Los datos reunidos permiten resumir las siguientes conclusiones:

(1) En las cuarcitas del Grupo Roraima pueden formarse sistemas de cavernas, extensos lateralmente.

(2) Los factores litológicos pueden desempeñar un papel importante en la génesis de conductos.

(3) La arenización de la roca en profundidad, dependiente de la infiltración del agua, es condicionada por el fracturamiento y por la estratificación, y generalmente requiere la existencia de niveles que resulten más fácilmente solubles y disgregables.

(4) Esto puede ser asegurado por un suministro continuado de agua procedente de cuencas epígeas. Lo que implica una coevolución entre los procesos erosivos de superficie y la tubificación en profundidad.

(5) Las cavernas en cuarcitas, a pesar de sus peculiaridades, pueden ser más frecuente y extensas de lo que hasta ahora había sido supuesto. Existe por tanto un enorme campo abierto a futuras investigaciones.

(6) El desarrollo del karst en cuarcitas-según las evidencias reunidas- no es tan frecuente o general como el karst en calizas. Para que se forme el karst es necesario que confluyan y actúen juntos una serie de factores. Pero cuando esto ocurre, el resultado puede ser notable, como lo demuestra la existencia del sistema descrito en esta nota.

(7) La cavidad Roraima Sur, con 10.820 m de desarrollo topografiado y -72 m de desnivel, presenta un gran interés científico y ofrece un amplio campo de estudio para comprender los procesos que intervienen en la formación del karst en cuarcitas. El sistema ha sido explorado de modo preliminar y puede no haber revelado aún todos sus secretos. La posición de un área de surgencia a baja altitud es un prometedor aliciente para futuras exploraciones.

AGRADECIMIENTOS

A todos los integrantes de las expediciones de la Sociedad Venezolana de Espeleología (SVE) al tepuy Roraima, y de modo especial a Wilmer Pérez La Riva, Joaquim Astort, Francisco Blanco, María Alejandra Pérez, Marian Nieto, Sergio Campos y Osvaldo Villareal. A Pedro Vegue por su invalorable ayuda y apoyo logístico durante los traslados. A Carlos Bosque, Juan Nolla y Franz Scaramelli por hacernos llegar sus observaciones sobre otras zonas del Roraima. A Franco Urbani y Josu Maguregi por la revisión del manuscrito y sus útiles sugerencias.

BIBLIOGRAFÍA

Aguerrevere S., V. López, C. Delgado & C. Freeman. 1939. Exploración de la Gran Sabana. *Revista de Fomento* 3(19): 501-729.

Auler A. & E. Rubbioli. 2003. Le potentiel spéléologique du Brasil. *Spelunca*, FFS, 92: 18-19.

Briceño H. & C. Schubert. 1985. Análisis de fracturamiento en zonas de tepuy. *Mem. VI Congr. Geol. Venezolano* 8: 5604-5621.

Briceño H. & C. Schubert. 1992. Geomorfología. En O. Huber (Ed.), *El Macizo de Chimantá, Escudo de Guayana, Venezuela*. O. Todtmann Editores, Caracas, pp. 61-74.

Carreño R., J. Nolla & J. Astort. 2002. Cavidades de Wei-Assipu-tepui, macizo del Roraima, Brasil. *Bol. Soc. Venezolana Espeleol.* 36: 36-45.

Colvée P. 1973. Cueva en cuarcitas en el Cerro Autana, Territorio Federal Amazonas. *Bol. Soc. Venezolana Espeleol.* 4(1): 5-13.

CVG - EDELCA. 2004. *La cuenca del río Caroní: una visión en cifras.* Gerencia de Gestión Ambiental de CVG-EDELCA, María Elena Corrales (Ed.), Editorial Exlibris, Caracas, 244 pp.

Dutra G. 1997. O Maior Desnivel do Mundo em Quartzito. *O Carste*, GBPE, (ediçao espec.) 9: 62-69.

Galán C. 1982. Notas sobre la morfología de la Cueva Autana y algunos comentarios generales sobre las formas pseudocársticas desarrolladas en cuarcitas del Grupo Roraima, Guayana Venezolana. *Bol. Soc. Venezolana Espeleol.* 10(19): 115-128.

Galán C. 1983. *Sima Aonda*. Publ. SVE, Ed. Edelca, Imp. Arte, Caracas, 28 pp.

Galán C. 1983. Sima Aonda, -362 m, Vénézuela. *Spelunca*, Fed. Franc. Speol., Paris, 14(2): 14-17.

Galán C. 1984. *Zonas bioclimáticas de la cuenca del río Caroní*. Publ. CVG-Edelca, Caracas. Memoria explicativa 74 pp. + 1 mapa a escala 1:500.000.

Galán C. 1986. Expediciones efectuadas por la SVE al Alto Paragua (Sierra de Marutani), tepuy Kukenán, Auyán-tepuy Norte, Sistema Aonda, y Yuruaní tepuy. *Bol. Soc. Venezolana Espeleol.* 22: 78-85.

Galán C. 1988. Cavernas y formas de superficie en rocas precámbricas del Grupo Roraima (Guayana Venezolana). *Bol. Soc. Venezolana Espeleol.* 23: 1-12.

GALÁN C. 1991. Disolución y génesis del karst en rocas carbonáticas y rocas silíceas: un estudio comparado. *Munibe* (Ciencias Naturales), Soc. Cienc. Aranzadi, 43: 43-72.

GALÁN C. 1992. El clima del macizo de Chimantá. En O. HUBER (Ed.), *El Macizo de Chimantá, Escudo de Guayana, Venezuela.* O. Todtmann Editores, Caracas, pp. 37-52.

GALÁN C. 1995. Exploración y estudio de cavidades en rocas silíceas precámbricas del Grupo Roraima, Guayana Venezolana: una síntesis actual. *Karaitza,* UEV, 4: 3-12.

GALÁN C. 2000. Herpetofauna colectada en expediciones a cavidades en tepuys de la Guayana Venezolana. *Bol. Soc. Venezolana Espeleol*. 34: 11-19.

GALÁN C. & J. LAGARDE. 1988. Morphologie et évolution des cavernes et formes superficielles dans les quartzites du Roraima. *Karstologia* 11-12: 49-60.

MARTINI J. 1981. The control of karst development with reference to the formations of caves in poorly soluble rocks in the eastern Transvaal, South Africa. *Proc. 8º Int.Congr.Speleol.*, Kentucky, USA, 1: 4-5.

MARTINI J. 1982. Karst in Black Reef and Wolkberg Group quartzite of eastern Transvaal escarpment, South Africa. *Bol. Soc. Venezolana Espeleol*. 10(19): 99-114.

POUYLLAU M. & M. SEURIN. 1985. Pseudo-karst dans les roches gréso-quartzitiques de la formation Roraima. *Karstologia* 5: 45-52.

REID A. 1972. Stratigraphy of the type area of the Roraima Group, Venezuela. *Bol. Geol.,* Caracas, *Publ. Esp*., 6: 343-353.

RENAULT P. 1971. *La formación de las cavernas.* Ed. Oikos-Tau, Barcelona, España, 124 pp.

RUBBIOLI E. 2003. A nova entrada da Gruta da Bocaina e o encontro de ET no Pico do Inficionado. *O Carste*, GBPE, 15(2): 57-65.

SCHUBERT C. 1984. Orígenes geológicos de la Gran Sabana. Paleoclimatología cuaternaria de la cuenca. En C. GALÁN (ed.), *La protección de la cuenca del río Caroní.* CVG-EDELCA, Div. Cuencas e Hidrología, Caracas, pp. 40-45.

SCHUBERT C. & O. HUBER. 1989. *La Gran Sabana: Panorámica de una región*. Cuadernos Lagoven, Caracas, 107 pp.

SCHUBERT C., H. BRICEÑO & P. FRITZ. 1986. Paleoenvironmental aspects of the Caroní-Paragua river basin (southeastern Venezuela). *Interciencia*, 11(6): 278-289.

SIMÓN C., J. CASTRILLO & G. MUÑOZ. 1985. Sedimentología en zonas de Santa Elena de Uairén y Monte Roraima, Edo. Bolívar, Venezuela. *Mem. VI Congr. Geol. Venez*., 2: 1135-1163.

SVE - SOCIEDAD VENEZOLANA DE ESPELEOLOGÍA. 1976. Am.11 - Cueva del Cerro Autana. Bo.1-3 - Simas de Sarisariñama. *Bol. Soc. Venezolana Espeleol.* 7(13): 81-100.

SVE - SOCIEDAD VENEZOLANA DE ESPELEOLOGÍA. 1977. Bo.4-5 - Cuevas Urutany 1 y 2. Bo.6 - Cueva El Tigre. Bo.7 - Cueva El Abismo. *Bol. Soc. Venezolana Espeleol*. 8(16): 199-210.

SVE - SOCIEDAD VENEZOLANA DE ESPELEOLOGÍA. 1986. Bo.9-19 - Cuevas de Aguapira 1 a 11. Bo.20-21 - Cuevas de Quebrada Arapán y Sistema Taamó-Poipotá. Bo.22-25 - Simas Kukenán 1 a 4. Bo.26 - Sima Auyán-tepuy Norte. Bo.27-30 - Simas del sistema Aonda. Bo.31-32. Simas Yuruaní tepuy 1 y 2. *Bol. Soc. Venezolana Espeleol*. 22: 49-75.

SZCZERBAN E., F. URBANI & P. COLVÉE. 1977. Cuevas y simas en cuarcitas y metalimolitas del Grupo Roraima, meseta de Guaiquinima, Edo. Bolívar. *Bol. Soc. Venezolana Espeleol*. 8(16): 127-154.

URBANI F. 1977. Novedades sobre estudios realizados en las formas cársicas y pseudocársicas del Escudo de Guayana. *Bol. Soc. Venezolana Espeleol*. 8(16): 175-197.

URBANI F. 1981. Karst development in siliceous rocks, Venezuelan Guiana Shield. *Proc. 8th Inter. Congr. Speleol*. 2: 548.

URBANI F. 1986. Notas sobre el origen de las cavidades en rocas cuarcíferas precámbricas del Grupo Roraima, Venezuela. *Interciencia* 11(6): 298-300.

URBANI F. & C. GALÁN. 1987. Listado de cavidades venezolanas en rocas no-carbonáticas. *Bol. Geociencias*, Universidad Central de Venezuela, Dpto. Geol., Caracas, 8: 5-12.

URBANI F., P. ZAWIDZKI & B. KOISAR. 1976. Observaciones geológicas en la meseta de Sarisariñama, Estado Bolívar. *Bol. Inf. Asoc. Venezol. Geol. Min. Petrol.* 19(2): 77-86.

URBANI F., S. TALUKDAR, E. SZCZERBAN, & P. COLVEE. 1977. Metamorfismo en rocas del Grupo Roraima, Estado Bolívar y Territorio Federal Amazonas. *Mem. V Congr. Geol. Venez.* 2: 623-642.

YÁNEZ G. 1985. Geología y geomorfología del Grupo Roraima en el Sureste de Venezuela. *Mem. VI Congr. Geol. Venez*. 2: 1243-1306.



GÉNESIS DEL SISTEMA RORAIMA SUR, VENEZUELA, CON NOTAS SOBRE EL DESARROLLO DEL KARST EN CUARCITAS

Carlos Galán[1,2], Francisco Herrera[1,3] & Joaquim Astort[1]
[1]Sociedad Venezolana de Espeleología, Apartado 47.334, Caracas 1041-A, Venezuela
[2]Sociedad de Ciencias Aranzadi, Alto de Zorroaga, 20014 San Sebastián, España. Correo-e: cegalham@yahoo.es
[3]Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Apartado 21827, Caracas 1020-A, Venezuela.

Recibido en abril de 2005

RESUMEN

El Sistema Roraima Sur constituye actualmente la mayor caverna del mundo en cuarcitas. La caverna se ha formado en rocas silíceas del Grupo Roraima, de edad Precámbrico (Proterozoico). La cueva es extensa y laberíntica, con un desarrollo de galerías de 10,8 km. Las aguas subterráneas han disuelto la roca aprovechando zonas de debilidad litológica, constituidas por niveles delgados de limolita y lutita interestratificados entre cuarzo-arenita de grano fino. En el proceso intervienen cuencas epígeas generadas por el avance de la erosión de las rocas en superficie. Se estima que la edad de la cueva sea superior a los 10 millones de años, aunque el inicio de la formación del sistema puede ser considerablemente más antigua (varias decenas de millones de años), habiendo desaparecido parte de la red por el avance de la erosión de superficie. Además, el trabajo propone una hipótesis sobre el origen y evolución de la caverna, ayudando a comprender el fenómeno de desarrollo del kárstico en cuarcitas en general.

Palabras clave: Karst en cuarcitas, geomorfología, hidrogeología, Guayana Venezolana.

ABSTRACT

Origin of Roraima Sur system, Venezuela, with notes about karst development in quartzites.

The Roraima Sur system is today the longest cave of the world in quartzite. The cave is formed in siliceous rocks of the Roraima Group, of Precambrian (Proterozoic) age. The cave is an intricate network of galleries, with a total development of 10,8 km. The groundwater has partially dissolved the cement of the quartzite bedrock firstly through zones of lithological weakness as thin beds of siltstone and shale interstratified between fine grained quartz-arenite. In the process take part epigean basins formed by superficial rock erosion. The age of the cave has been estimated in over 10 million years, although the beginning of the formation of the system can be considerably older (several tens of millions of years), having disappeared part of the network by the advance of the surface erosion. As well, we suggest a working hypothesis of the origin and evolution of this cave in particular, in order to understand the karst development in quartzite in general.

Key words: Quartzite karst, geomorphology, hidrogeology, Venezuelan Guiana.

INTRODUCCIÓN

El sistema Roraima Sur es una cavidad única de 11 km de desarrollo y -72 m de desnivel. Se localiza en la cumbre del tepuy Roraima (2.810 m de altitud), Guayana Venezolana. Su exploración y topografía fue efectuada por la Sociedad Venezolana de Espeleología (SVE) a lo largo de varios años, contando con la colaboración en algunas salidas de miembros de la Sociedad de Ciencias Aranzadi (SCA, España) y Oxford University Cave Club (OUCC, Inglaterra). Actualmente es la mayor caverna del mundo en cuarcitas. Forma parte de un extenso sistema hidrogeológico de drenaje subterráneo que alcanza 700 m de desnivel. Una descripción geomorfológica e hidrológica de la cavidad y el sistema es presentada en otro artículo de este mismo boletín. Su topografía e información adicional es presentada con gran detalle en el apartado de Catastro. Para la comprensión de esta nota y a fin de no repetir datos, remitimos al lector a la lectura previa de esas fuentes.

Basándonos en datos topográficos y observaciones geológicas de campo, en esta nota describimos los factores y procesos que han intervenido en la formación del sistema subterráneo.

Un énfasis especial es puesto en explicar la evolución de la caverna y del sistema de drenaje a lo largo del tiempo. El trabajo formula una hipótesis comprensiva sobre el origen y evolución de la caverna, con notas adicionales sobre los procesos que intervienen en la formación del karst en cuarcitas y sus principales diferencias con respecto al modelo clásico para el karst en rocas carbonáticas. Se expone además la relación entre el modelado de superficie y la formación de la caverna, ya que ambos aspectos están interrelacionados.

RESULTADOS

Aspectos Generales

Las cuarcitas del Grupo Roraima son rocas silíceas primariamente impermeables. Es importante destacar esto desde el principio, ya que constituye una notable diferencia con el karst clásico en calizas. La cumbre de Roraima, así como la de muchas otras mesetas de cuarcita del Sur de Venezuela, presenta una hidrografía de superficie, que se desarrolla sobre un sustrato rocoso básicamente impermeable. Algunos ríos y drenajes superficiales se encajan en la red de fisuras que recorta en algunos puntos la

cumbre, pero se puede decir que en la mayor parte de la superficie no existe infiltración ni formación de cavernas. Este modelado posee sin embargo rasgos singulares, con numerosas macro y microformas de superficie, producto de la erosión y disolución superficiales (GALÁN & LAGARDE 1988). Sin embargo, localmente, sobre el mismo tipo de rocas primariamente impermeables, se puede producir una intensa karstificación, con formación de cavernas extensas, tan notables como la red de 11 km de galerías del Sistema Roraima Sur.

El modelado de las rocas expuestas del Grupo Roraima ha sido intenso, y se calcula que al menos 3.000 m de espesor han sido erosionados desde el Precámbrico hasta el presente (BRICEÑO & SCHUBERT 1992). La superficie actual de las cumbres es el remanente de un largo proceso erosivo, que disectó y rebajó el relieve, acompañando el ascenso tectónico del Escudo de Guayana (SCHUBERT *et al.* 1986).

Los estudios tectónicos realizados en zonas de tepuy indican que las rocas de Roraima han sido sólo levemente deformadas, desarrollándose pliegues amplios con flancos de suave buzamiento, y con longitudes de onda de decenas de kilómetros (BRICEÑO & SCHUBERT 1992). La cavidad Roraima Sur se localiza sobre una compacta zona en la parte central del borde sur de la meseta, precisamente donde se encuentran las mayores elevaciones topográficas y estratigráficas de la cumbre. La estructura de este sector forma una amplia cubeta sinclinal, con flancos asimétricos y de suave buzamiento. El eje del pliegue tiene un azimut y buzamiento N, pero progresivamente el buzamiento pierde inclinación para dar paso a una amplia zona de estratificación horizontal. Este dispositivo estructural ha permitido que el drenaje superficial no pueda escapar hacia el borde Sur, sino que drena en sentido opuesto, hacia la parte plana central. Sin embargo, a medida que el agua caída en superficie se aleja del borde, consigue infiltrarse a través de fracturas y planos de estratificación, e ingresa al subsuelo generando una extensa caverna. Posteriormente, estas aguas subterráneas derivan, a través de otra serie de fracturas verticales, hacia una zona de surgencia situada en la base de la pared exterior.

Así, la karstificación se produce aprovechando el dispositivo estructural y la existencia de grandes fracturas verticales asociadas a la mecánica de borde del tepuy. En este recorrido de las aguas de infiltración entre la superficie y la zona de surgencia, las aguas subterráneas encuentran una zona de debilidad litológica en la serie estratigráfica y la aprovechan para desarrollar su acción erosiva subhorizontalmente, generando la caverna. Esta zona «débil «está constituida por varios niveles de cuarcitas de grano fino con intercalaciones de limolitas y lutitas interestratificadas. A partir de estos niveles las aguas consiguen disolver preferentemente las rocas del subsuelo, extendiendo la meteorización química a las rocas adyacentes, sobre un área extensa.

El mecanismo genético responsable de la formación de cavidades en las cuarcitas de Roraima ha sido expuesto sintéticamente por URBANI (1986) y GALÁN (1988, 1991). Este modelo muestra que la meteorización química de las cuarcitas procede por disolución del cemento silíceo intergranular, haciendo que la cohesión de la roca disminuya exponencialmente; se produce así una decementación o arenización paulatina que torna la roca compacta en friable, y facilita luego la formación de conductos y galerías en algunas partes del sistema (URBANI 1986). Pero la disolución actúa también en superficie. Por ello, para que la karstificación ocurra o predomine, es necesario que intervengan otros factores, principalmente hidrogeológicos. Como luego veremos, las discontinuidades estratigráficas han facilitado la disolución de la roca en profundidad, pero ello ha sido posible porque el dispositivo topográfico y estructural ha permitido un ingreso concentrado de las aguas al sistema a través de bocas-sumidero. La existencia de estos drenes es lo que permite un flujo importante y continuado, incrementando la disolución en la red de galerías y permitiendo evacuar la sílice disuelta y los fragmentos detríticos finos. El resultado es la formación de cavernas en torno a una parte de este extenso sistema de drenaje.

La karstificación en este caso concreto está estrechamente asociada a la erosión de superficie y a la evolución del modelado externo del tepuy en este sector de borde.

El sistema subterráneo

El sistema Roraima Sur está constituido mayoritariamente por galerías subhorizontales. Aunque la cavidad posee varias bocas de sima, instaladas sobre fracturas verticales, éstas se interrumpen a poca distancia de la superficie (30 m) al alcanzar la red horizontal de galerías.

Los buzamientos medidos en el interior de las cuevas oscilan entre 12º y 0º, siendo más acentuados en la parte Sur (12º a 5º) y tendiendo a la horizontalidad (5º a 0º) a medida que se avanza hacia el lado Norte.

El borde Sur de la meseta, como puede apreciarse en la pared externa, está surcado por grandes fracturas verticales en sus partes E y O, pero posee una extensa y compacta parte central (de algo más de 2 km de anchura) desprovista de tales accidentes mayores. Es sobre esta compacta parte central, cerca del borde, donde se instala el sistema subterráneo. El drenaje superficial en el tope de la meseta, en esta área central, no escapa de la cumbre a través de cascadas y cañones, sino que se ve obligado a derivar hacia zonas topográficamente algo más bajas y planas existentes al N de dicha área. Este dispositivo facilita la infiltración.

El nivel principal de excavación de galerías corresponde a paquetes de cuarcitas de grano fino a muy fino, que existen a entre 20 y 50 m por debajo de la superficie topográfica. Estos paquetes alternan algunos estratos de 1-2 m de espesor con numerosos estratos centimétricos. En conjunto puede decirse que es un nivel de estratificación delgada, con finas laminaciones internas paralelas, predominantemente planares; la serie también incluye algunos estratos con estratificación cruzada. Pero lo más significativo es que en diversos puntos se observan niveles delgados de limolitas, centimétricos a milimétricos, intercalados entre las cuarcitas.

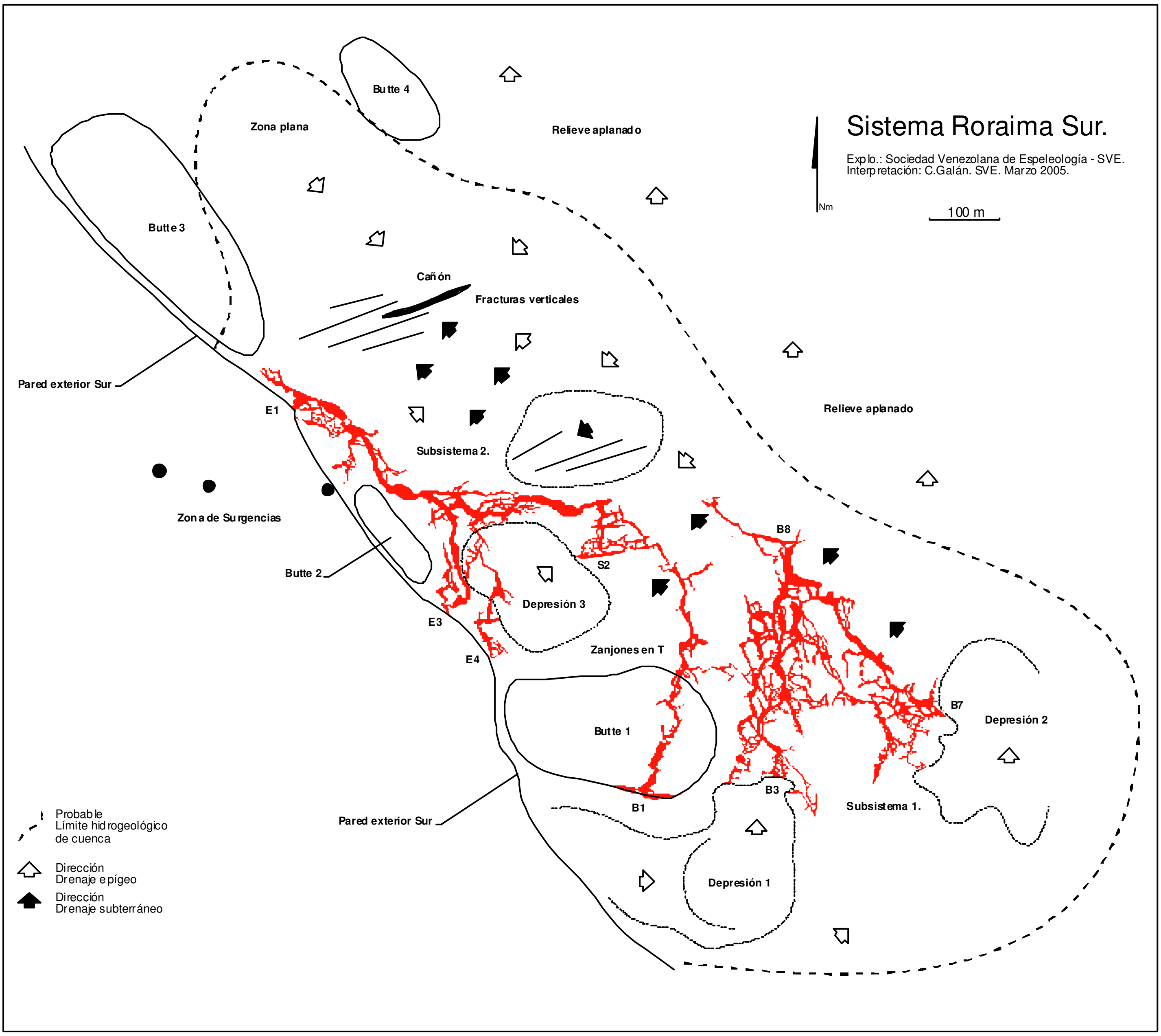


Fig. 1. Esquema de la ubicación del Sistema Roraima Sur con relación a la topografía de la superficie del tepuy, mostrando además los principales elementos del relieve y la circulación hídrica del sector.

El tamaño de grano de las limolitas oscila entre el de la fracción limo y el de arena muy fina (1/32 a 1/8 mm) y su coloración es típicamente rojo-ladrillo, mucho más intenso que la coloración rosada de las cuarcitas predominantes. Algunos delgados niveles de colores grises y rojizos están constituidos por partículas tamaño arcilla (lutitas) o por fracciones intermedias limo-arcillosas, pero éstos son minoritarios. Muchos estratos de cuarcita de grano fino muestran también finas laminaciones paralelas, con veteados rojizos, que indicarían mayores tenores de hierro en ellas. En conjunto, estas cuarcitas de grano fino con intercalaciones de limolitas y lutitas parecen ser muy friables y constituyen un nivel de debilidad litológico, el cual ha sido aprovechado preferentemente por las aguas subterráneas para excavar las galerías.

No obstante, otras unidades de la serie estratigráfica, que incluyen cuarcitas de grano medio a grueso, de mayor espesor (2-3 m), y que se comportan en superficie como unidades muy resistentes, también han sido perforados por las galerías al formarse la cavidad. Esto quiere decir que, asociado al flujo subterráneo en el interior de las cuevas, toda la serie puede experimentar disolución y arenización.

La caverna entalla progresivamente la serie estratigráfica, a lo largo de 72 m de desnivel y 50 m de espesor. Las bocas B3, B7 y S2

son importantes sumideros de plataformas o depresiones de fondo plano existentes en el área. La red de galerías también captura la infiltración dispersa sobre su superficie. Las aguas aprovechan fracturas y diaclasas para alcanzar el nivel de las cuevas y a partir de ahí siguen el buzamiento de los estratos.

Las aguas subterráneas se dirigen hacia el ONO, donde existe una zona surcada por un cañón-sumidero y otras fracturas verticales, no abiertas hacia el borde. Esta zona de fracturas, que a su vez drena una amplia área plana contigua, parece ser una importante zona de infiltración vertical, y está relativamente próxima al borde (Fig. 1). Cerca de este punto, en la base de la pared externa del tepuy y entre los bloques del talud, existe una importante zona de surgencias. El agua emerge de un boquete en la pared formando una cascada de 8 m de altura (a 600 m de desnivel por debajo de la cumbre) y en varios puntos más abajo, entre los bloques del talud (Fig. 2).

Todo indica que las aguas subterráneas del sistema terminan por circular a expensas de esta zona de fracturas verticales hacia las surgencias inferiores, probablemente a través de varios drenes verticales en paralelo.

Podemos resumir diciendo que el sistema de cuevas conocido se desarrolla a escasa distancia de la superficie, siguiendo el buzamiento subhorizontal de las capas, y aprovechando zonas de debilidad litológica, constituidas principalmente por cuarcitas de grano fino con intercalaciones de niveles delgados de limolitas y lutitas. El diaclasado es aprovechado por las aguas de escorrentía para infiltrarse hasta el nivel de las cuevas y posteriormente es utilizada otra zona de fracturas verticales para profundizar hasta una zona de surgencia, mucho más baja, existente en la base de la pared y en el talud.

Hidrología y trazado de las cavidades

El caudal de los ríos subterráneos conocidos en el Sistema (que alcanza en el colector de la Galería del Río un caudal medio de 250 l/s) presenta dos modalidades de infiltración. Una parte (menor) corresponde a la infiltración dispersa por toda la superficie del área. Otra parte (mayor) a la infiltración concentrada de las aguas a través de bocas-sumidero. Esta última procede de cuencas epígeas instaladas sobre plataformas o depresiones planas (algo más bajas topográficamente que los relieves adyacentes) y asegura un caudal perenne.

El modelado del relieve permite que las aguas superficiales se infiltren tanto a través de fracturas verticales como de planos de estratificación. En la zona existen varias áreas de topografía plana y compacta, a distinta altura. Las dos superiores forman una cuenca deprimida (con respecto al relieve adyacente) que es drenada por la boca B3. Otra, algo más baja, es drenada por la boca B7. La más baja es drenada por la sima S2.

La red subterránea es de trazado laberíntico: sus 11 km de galerías están incluidos en un rectángulo de 1.200 x 600 m. Pero si a ello sumamos las depresiones que drenan hacia las cuevas y las zonas intermedias entre ellas, el área total supera 1,5 km^2. Para la zona han sido estimados unos recursos hídricos del orden de 142 l/s por km^2 de cuenca. Debido a la impermeabilidad primaria de las cuarcitas y a la inexistencia de suelos desarrollados que ejerzan un papel regulador, los cauces subterráneos transmiten rápidamente las variaciones pluviométricas, con bruscas oscilaciones de caudal en cortos lapsos de tiempo. Han sido observados en el colector caudales mínimos anuales del orden de 50 l/s, pero se estima que en aguas altas puede haber puntas de crecida con caudales mucho mayores de 1 m^3/s. El sistema es muy transmisivo y poco capacitivo, con escasa capacidad de regulación y escasas reservas. En aguas altas muchas galerías funcionan en condiciones semi-freáticas.

Una descripción de la cavidad y su morfología puede verse en otro artículo de este mismo boletín. Aquí sólo queremos destacar

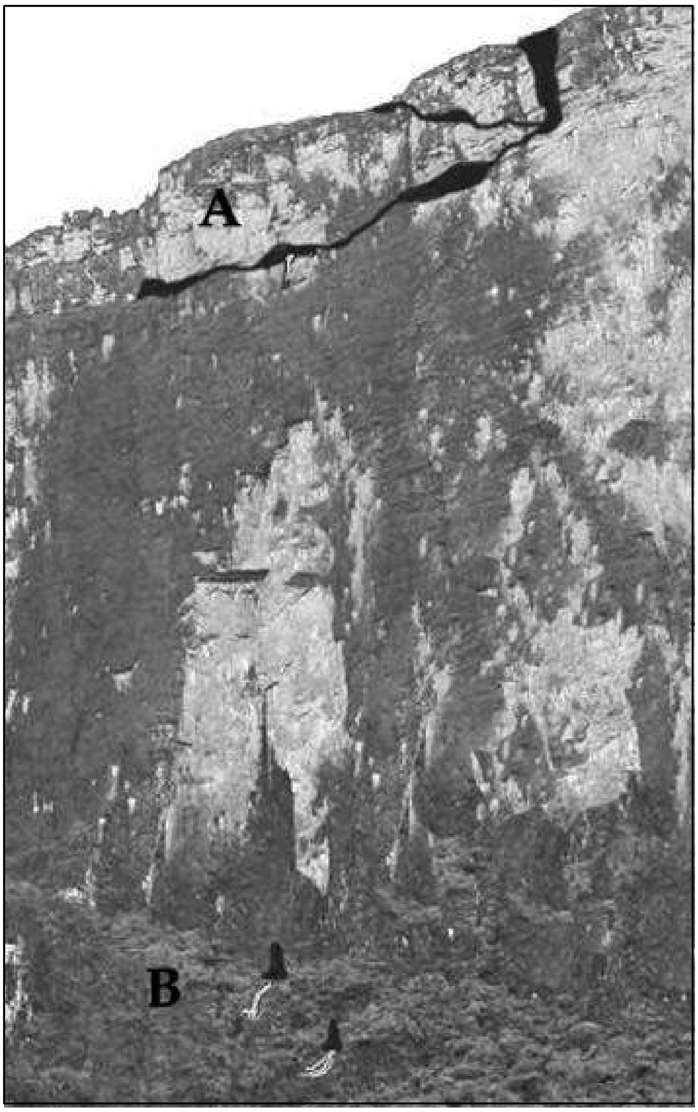


Fig. 2. Esquema del recorrido de las aguas desde el Sistema Roraima Sur, mostrando la captura de las mismas en la superficie del tepuy, hasta las surgencias en la base de la pared y talud.

que la mayor parte del drenaje del subsistema 1 no prosigue como pudiera esperarse por una gran galería. Al contrario, la Galería Central se interrumpe abruptamente en su extremo N al interceptar una gran fractura vertical (B8, sima de 18 m). Parte del drenaje escapa a través de pequeñas galerías y laminadores. Y la conexión con el subsistema 2 se realiza a través de una pequeña galería (Conexión, cota -53) que es la prolongación de la Galería Oeste, activa en su mitad inferior. Las aguas que ingresan por la sima-sumidero S2 y las que proceden del subsistema 1 reaparecen y se concentran de nuevo para generar la amplia Galería del Río, que alberga el colector. Este recibe además otros pequeños afluentes en su recorrido.

La mayor parte del drenaje subterráneo concentrado en el colector desaparece inesperadamente bajo un gran relleno de bloques, en un tramo de la galería, en la cota -65. La prospección intentada entre los bloques indica que el agua se infiltra a través de conductos de pequeño diámetro, impracticables. La prolongación de esta gran galería presenta poco después una serie de estanques y pequeños aportes hídricos laterales que forman de nuevo un río, pero bastante menos caudaloso, cuyas aguas desaparecen en un sumidero terminal 200 m después, en la cota -72. No obstante, cabe destacar que estas observaciones corresponden a una época de máximo estiaje, siendo probable que en época de lluvias el colector prosiga caudaloso hasta la cota -72.

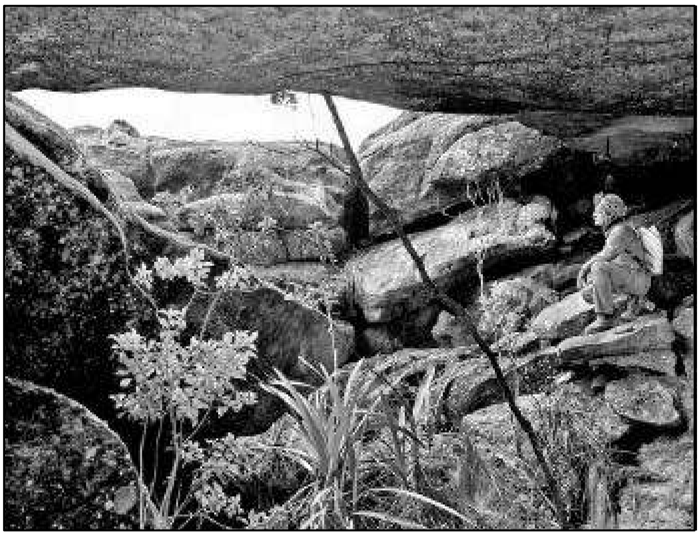
El agua del sistema sigue un trazado en líneas generales hacia el N en el subsistema 1, mientras que en el subsistema 2 el trazado pasa a ser O-NO. El colector se interrumpe muy cerca de la pared externa, pero no emerge a la superficie a este nivel, sino que deriva algo más al N para alcanzar la zona de fracturas verticales que lleva las aguas hacia las surgencias.

Al S de la galería colectora en el subsistema 2 hay dos importantes laterales (galerías del Merey y de las Claraboyas). Estas siguen el buzamiento hacia el N, con trazados S-N, y descienden desde las bocas E3 y E4 (abiertas en la pared en las cotas -40 y -37) hasta interceptar la Galería del Río en la cota -64/-65. Así que se trata de antiguas galerías afluentes, hoy prácticamente inactivas al haber perdido su área de alimentación por retroceso de la pared externa.

La boca inferior E1, abierta en la pared en la cota -70, se asemeja morfológicamente a la parte inferior de los laterales del Merey y de las Claraboyas, pero sólo se conserva de ella un tramo muy corto. Cabe también la posibilidad de que pudiera haber actuado en el pasado como boca-surgencia, aunque una suma de detalles hace que nuestra opinión se incline hacia la primera posibilidad. En todo caso resulta claro que hoy esta boca no actúa como surgencia y que parte de la red de la cueva ha desaparecido por la erosión de superficie que ha ocasionado el retroceso de la pared externa.

Evolución del sistema

Los rasgos geomorfológicos observados en las cavidades indican que las vías de infiltración del agua aprovechan discontinuidades o zonas de debilidad, litológicas y estructurales.



Aspecto de una de las bocas de acceso al sistema (Foto: R. Carreño).

El buzamiento y la pendiente topográfica tienen una débil inclinación N, dirigiendo el drenaje superficial y subterráneo en sentido opuesto al borde, y facilitando de esta forma la infiltración o al menos no permitiendo que las aguas escapen de la cumbre a través de cascadas o fracturas de borde.

En las cuevas se distinguen galerías hidrológicamente activas y otras inactivas. No obstante, debido al régimen hídrico, algunas galerías inactivas podrán tener pequeños flujos en épocas de lluvias, correspondientes a infiltración local. En gran parte de la red de galerías el régimen hídrico es intermitente. Podríamos decir que el régimen hídrico sólo es permanente en la Galería del Río (colector), en las galerías que proceden de las bocas-sumidero B3, B7 y S2, y en la mitad inferior de la Galería Oeste (a partir del ingreso de agua por unas cascadas en su bóveda).

El suministro de agua es permanente, básicamente en las bocas y galerías que drenan las tres extensas depresiones existentes en la zona. Y adicionalmente en algunos otros laterales que, al estar a cierta profundidad, consiguen reunir pequeñas filtraciones dispersas, pero con caudales muy bajos.

Hecha estas precisiones, obligadas, cabe destacar que existe una correspondencia entre el crecimiento volumétrico de las galerías y los caudales presentes o pasados por ellas drenados. Cuanto mayor sea, o haya sido, el caudal circulante, mayor habrá sido el valor de la disolución específica en torno al drenaje, y por lo tanto, será mayor el volumen subterráneo excavado.

Podríamos decir que en el sistema, por lo observado, existen galerías que hoy no cuentan con agua suficiente para explicar su formación. Este es el caso p.ej. de la mitad superior de la amplia Galería Oeste, de la Galería Paralela, y de los Laterales del Merey y de las Claraboyas. Más toda otra serie adicional de laterales y galerías menores (Lateral 82, etc.). Las dimensiones de estos conductos en ningún caso encuentran una explicación plausible en proporción al escaso o nulo caudal actualmente observable en ellas. Estas galerías hoy abandonadas por las aguas, han debido tener en el pasado, circulaciones de agua con caudales importantes.

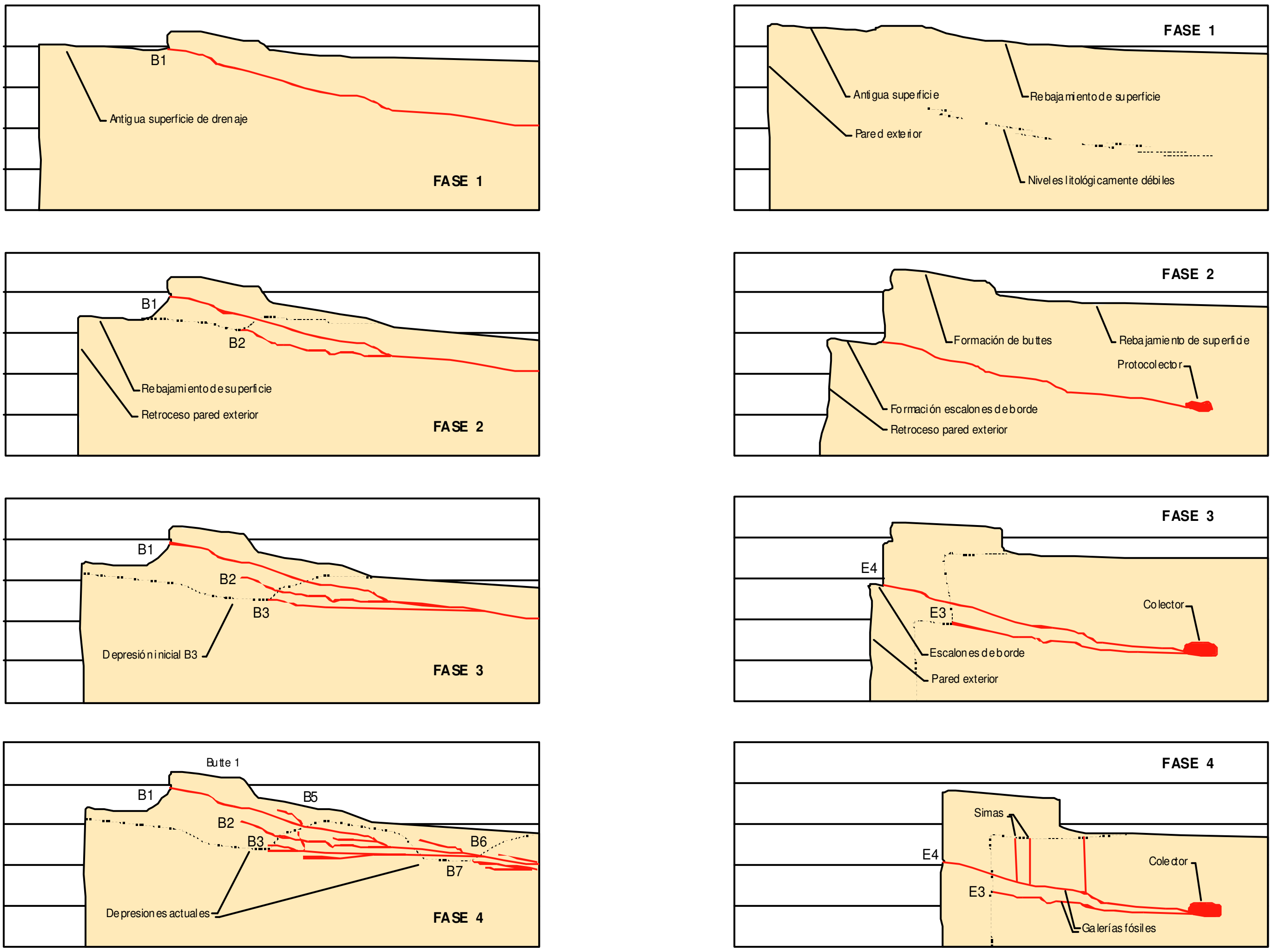


Fig. 3. Esquema de hipótesis evolutiva para el Sistema Roraima Sur. A la izquierda, evolución del subsistema 1, donde la línea sólida representa las galerías subterráneas del tramo superior de la red. A la derecha, evolución del subsitema 2, donde la línea sólida representa las galerías subterráneas afluentes del colector.

Las galerías hidrológicamente inactivas, no han quedado abandonadas por las aguas simplemente al profundizar o entallarse el drenaje subterráneo, sino -sobretodo- porque han perdido sus áreas principales de alimentación, como producto del rebajamiento de superficie, al progresar la erosión superficial. Las actuales galerías activas aprovechan, no sólo la infiltración local, sino fundamentalmente la captura del drenaje superficial de áreas deprimidas adyacentes, rebajadas por la erosión de superficie a lo largo del tiempo.

Las galerías hoy observables tienen por tanto distintas edades. Las galerías activas pueden haber comenzado a formarse en distintas épocas, pero continúan siendo excavadas hasta el presente, es decir, son galerías actuales, en pleno crecimiento. Las galerías fósiles o inactivas -producto del desmantelamiento del relieve superficial- deben ser más antiguas cuanto más elevada sea la posición que ocupan sus bocas o tramos superiores en la serie estratigráfica.

Parece claro que las bocas B1 y B2 han quedado actualmente colgadas con respecto a la boca B3, la cual drena la depresión existente a su lado. La boca B1 (más aún dadas sus dimensiones) debía drenar una antigua superficie hoy desaparecida; dicha boca está actualmente colgada a unos 8 m por encima de una zona plana adyacente a ella. Lo mismo ocurre con la boca B6, colgada con respecto a B7. Esta última está en proceso de quedar colgada por un ingreso inferior de las aguas de la rebajada depresión adyacente.

En el subsistema 2 ya ha sido comentado el desmantelamiento de los probables tramos superiores de las galerías abiertas a la pared, por retroceso de la pared externa.

Todas estas evidencias permiten postular una evolución del sistema a lo largo del tiempo. A modo de hipótesis proponemos una serie de etapas evolutivas, que de más antigua a más reciente son las siguientes (Fig. 3):

(1) En el subsistema 1 la boca más antigua corresponde a B1, que es la que ocupa una posición más alta en la serie estratigráfica. Esta boca, y la gran Galería Oeste que la prosigue, debían capturar un importante drenaje superficial. Probablemente drenara la superficie plana adyacente, situada entonces más alta, y que sería más extensa hacia el Sur. Esto implica la ocurrencia de un retroceso del escarpe Sur (tal vez del orden de un centenar de metros) y de un rebajamiento de superficie (del orden de una decena de metros) (FASE 1).

(2) Parte de la plataforma anterior, que alimentaba la boca B1, es rebajada hasta el nivel de la boca B2. Progresivamente ésta captura el drenaje de la cuenca externa y deja inactiva la boca B1 (FASE 2).

(3) Al avanzar la formación de conductos y galerías en el nivel litológicamente débil, progresa el rebajamiento de superficie y se abren nuevas bocas a nivel del techo de B3 y B7. La zona de alimentación se desplaza a las nuevas depresiones, más bajas, que drenan hacia estas bocas, dejando entonces inactiva a B2 (FASE 3).

(4) Sería la situación actual, donde nuevas bocas-sumidero se están abriendo a unos 4 m por debajo de B3, en correspondencia con el rebajamiento de superficie que deprime la zona plana adyacente. En la depresión drenada por B7, el desnivel entre la boca y el fondo plano de la depresión es aún algo mayor, del orden de 8 m, y el agua ingresa por debajo del relleno de bloques de esa boca (FASE 4).

(5) Entre las fases 1 y 4 el rebajamiento total de superficie ha sido del orden de 20 m o algo más. Parece plausible postular que tal remoción de roca, unida al retroceso del escarpe Sur, puede haber descomprimido mecánicamente toda el área, produciendo la pequeña falla de B8 y tal vez el basculamiento de todo el bloque donde está la cueva hacia el W. Ello explicaría la falta de continuidad de las galerías al N de B8, hecho que por lo demás sorprende, ya que una vez formado un importante colector no es fácil explicar su abrupta interrupción (no se trata de la interrupción por un derrumbe o un sifón) sin la intervención de una causa mayor .

(6) La galería que alcanza la cota -51 (la única que prosigue más al N de la fractura de B8) parece ser de génesis relativamente reciente, habiendo logrado capturar y derivar hacia el subsistema 2 parte del drenaje de la zona más plana del subsistema 1.

(7) El drenaje de la galería de Conexión (cota -53), parece también ser reciente, producto del actual ingreso concentrado de aguas a través de las dos cascadas abiertas en la parte media de esta galería.

Adicionalmente, para el subsistema 2 y para el conjunto del sistema, podemos agregar las siguientes notas:

(1) Las galerías afluentes situadas al S del colector procedían de galerías que anteriormente se prolongaban más al S y más altas que la posición de las bocas actuales. Drenaban antiguas superficies hoy desaparecidas.

(2) Las simas o claraboyas S3 a S6 parecen ser relativamente jóvenes, de génesis reciente.

(3) Las aguas del colector se están hundiendo actualmente hacia un nivel inferior, más bajo que la Galería del Río, actualmente en activo proceso de formación.

(4) La red del subsistema 2 está en continuidad hidrológica con la del subsistema 1. La captura del drenaje de la plataforma que se sume en la sima S2 probablemente ha ocurrido en una fase intermedia entre las fases 1 y 4, cuando el rebajamiento y la descompresión han permitido que las fracturas de esa zona interceptaran el nivel de circulación.

(5) Desde el inicio, para que se estableciera la circulación subterránea, debe haber existido una zona de surgencia y una zona de grandes fracturas verticales que llevara el agua infiltrada hasta ella. Las circulaciones pueden haberse facilitado paulatinamente al progresar la descompresión del macizo.

(6) La cota progresivamente más baja de E4, E3, E1, sugiere que el retroceso de la pared externa ha sido mayor en la parte O y menor en la E. Es probable que este tramo central de la pared tuviera anteriormente una orientación más próxima a una línea E-O, y estuviera un poco más al S que B1.

(7) El área total de captación, cuando comenzó la formación de la cueva, probablemente constituyera una antigua superficie a nivel del tope de los «buttes» actuales. El paulatino rebajamiento de superficie dejó aislados estos cerros-testigo y probablemente generó escalones de borde. Al introducirse una diferencia vertical en la excavación del relieve se propició la captura del drenaje de diferentes plataformas a través de bocas-sumidero que concentraron el flujo subterráneo.

(8) Mientras la cavidad evolucionaba extendiendo la red de galerías, el rebajamiento de superficie creaba nuevas áreas deprimidas. El retroceso de la pared S hace desaparecer las partes más altas y antiguas y orienta la pared hacia su dirección actual NO-SE.

(9) El avance de la erosión superficial descomprime las zonas de borde propiciando la apertura mecánica de nuevas fracturas que progresivamente serán utilizadas por las aguas (Renault 1971, Galán 1995). En este esquema puede pensarse en el basculamiento de bloques de borde, que producirían la falla de B8 y la alineación de largas fracturas en S1 y S2.

(10) Por último, queremos señalar que todo el sistema puede haber evolucionado con una antigua surgencia a nivel de la actual cota -70 (o próxima a ésta), y más modernamente puede haberse canalizado el flujo hacia las actuales surgencias de la base de la pared. Esta zona de fracturas verticales sería entonces joven y estaría en pleno proceso de tubificación y ampliación de conductos. No podemos asegurar con certeza lo realmente ocurrido y estas notas sólo pretender abrir a la reflexión de cada uno las hipótesis que consideramos más probables.

Este esquema evolutivo supone una captura progresiva de las aguas superficiales, pero a la vez, el desmantelamiento y desaparición de antiguas superficies, que pudieron haber sido también más extensas.

En las áreas situadas sobre la red de las cuevas se ha detenido o ralentizado la erosión y el rebajamiento de superficie, progresando la infiltración vertical a expensas del diaclasado. En las áreas adyacentes a la red de las cuevas, en cambio, no existe infiltración, y puede actuar el rebajamiento aplanando y deprimiendo el terreno. Estas cuencas subaplanadas son capturadas por la red subterránea a expensas de planos de estratificación,

elevando los caudales subterráneos, y facilitando en profundidad la arenización de mayores volúmenes de roca y la formación de mayor número de conductos y galerías.

El cavernamiento se desarrolla a partir de planos o vías de penetración del agua que aprovechan la existencia de niveles litológicamente débiles, pero que están también en relación con la estructura local y con las condiciones mecánicas imperantes en una zona de borde.

Junto a la ocurrencia de karstificación local o cavernamiento en las cuarcitas, coexiste una evolución de superficie, durante la cual la erosión normal rebaja el terreno adyacente, entalla y disecta el relieve del área, y probablemente hace retroceder el escarpe externo, con la consiguiente desaparición de las partes más antiguas del sistema.

Génesis y edad de las formas

Los procesos de arenización de la cuarcita están en relación con el tiempo de residencia del agua en el acuífero y con su flujo o velocidad de renovación. Cuanto mayores es la cantidad de agua y el tiempo de contacto entre la roca y el flujo de agua, más se facilita la disolución intergranular y la evacuación de la sílice disuelta. La tubificación y el transporte de granos de arena y fragmentos detríticos se facilita en las zonas con drenes que concentran el flujo de agua.

Si tenemos en cuenta que el rebajamiento de superficie en las cuarcitas de Roraima tiene valores medios estimados en el orden de 2 m por millón de años (Galán 1988, 1991, Schubert & Huber 1989) y que en el subsistema 1 la galería más alta (Galería del Oeste) está situada a 20-30 m por encima de las principales bocas activas (B3, B7, S2), tal galería -probablemente la más antigua que se conserva del sistema- pudo haberse formado hace más de 10 millones de años. La edad de inicio de la formación del sistema puede ser considerablemente más antigua (varias decenas de millones de años), habiendo desaparecido parte de la red por el avance de la erosión de superficie.

Esta cifra, altamente teórica, sólo pretende dar una idea aproximada del tiempo requerido para formar este sistema de cuevas. Martini (1984) ha demostrado que la arenización de la cuarcita puede producirse en 2 millones de años, y que la tubificación -si las condiciones son favorables- es más rápida aún. Por otro lado Schubert (1984) ha destacado la existencia de fluctuaciones paleoclimáticas en la región durante el Terciario tardío y el Pleistoceno, con alternancia de fases áridas y húmedas. El clima ejerce un papel determinante en los procesos erosivos. La abundancia de las precipitaciones contribuye no sólo a la degradación química de las rocas, sino que actúa también en la remoción de detritos clásticos. Las aguas y la fuerza de gravedad constituyen el cincel que ha modelado los tepuys (Briceño & Schubert 1992). Las aguas disuelven preferentemente el cemento silíceo que une los granos de arena de las cuarcitas, produciendo un material poroso, permeable y friable, que se deteriora, produciendo mayormente arenas fácilmente transportables por la escorrentía.

En la hipótesis evolutiva de Schubert (1984), durante las fases áridas predominó la erosión mecánica, lo que redujo la superficie de las mesetas y verticalizó sus paredes; durante las épocas húmedas, predominó la erosión química, disolviendo las rocas y redondeando la topografía. Esta última es la situación actual.



Las rizaduras de oleaje constituyen estructuras primarias de las cuarcitas de grano fino (Foto: R. Carreño).

Debido a que desconocemos la magnitud y duración que han podido tener los períodos áridos y húmedos en los últimos millones de años, las tasas de denudación y disolución (en superficie y en el endokarst, respectivamente) han podido ser menores o mayores que el valor medio antes propuesto, y, por consiguiente, la edad de las formas puede quedar en consecuencia sobre o subestimada. En este sentido sería de gran interés el lograr la datación absoluta de espeleotemas o sedimentos conservados en las galerías de las cuevas, ya que ello aportaría datos para conocer con exactitud cómo ocurrió su evolución.

Ha sido dicho que la formación de cavidades en las cuarcitas de Roraima se produce por remoción mecánica (piping) de los granos de arena, luego de sufrir procesos de disolución parcial del cemento silíceo (Martini 1982, Urbani 1986). También ha sido señalado que las cavidades se localizan con frecuencia en zonas de borde, pero que teóricamente pueden formarse en casi cual-



El aspecto veteado de las paredes de la cueva evidencia la existencia de estratos muy delgados con litologías variadas (Foto: R. Carreño).

quier lugar donde las condiciones estructurales (diaclasas) o estratigráficas (planos de estratificación o unidades más solubles) canalizan el flujo de aguas subterráneas (BRICEÑO & SCHUBERT 1992). En este esquema, teórico, la extensión vertical de las cavidades parece estar controlada por los sistemas de fracturas, mientras que las ramificaciones horizontales serían controladas por factores estratigráficos. Obviamente, esto es lo que se aprecia en las cavidades existentes una vez formadas, pero no queda claro cómo se establece el flujo subterráneo en sus fases iniciales, en su origen.

El sistema Roraima Sur, extenso y ramificado horizontalmente, permite aportar algunas precisiones. Los factores estratigráficos en estas cuevas comandan el cavernamiento. Además del suave buzamiento en sentido opuesto al borde y de la excavación preferencial de paquetes de cuarcita de estratificación delgada y grano fino, debe haber desempeñado un papel mayor la existencia de intercalaciones centimétricas de lutitas y limolitas. ¿Cómo y de qué forma?

En inicio, debido a que el tamaño de grano de las partículas de limo y arcilla son sólo una fracción del tamaño de las partículas de arena, la cantidad de cemento intergranular es mucho menor en las limolitas y lutitas. Debido a la poca solubilidad del cuarzo y especialmente a su tasa de disolución extremadamente baja, la disolución puede actuar no sólo a través de diaclasas, sino también intergranularmente (URBANI 1986), permitiendo la transformación de la roca compacta en friable. En las rocas de grano más fino no sólo basta una menor disolución volumétrica del cemento para que se descohesionen los granos individuales, sino que, por su menor tamaño, son suficientes canalículos menores para evacuar los fragmentos detríticos.

Así, en las fases más tempranas del proceso, las intercalaciones de limolitas resultan muy eficaces para establecer el drenaje subterráneo. Una vez establecido podrá progresar la «arenización» de la roca adyacente, en torno a las vías de penetración del agua, bajo condiciones freáticas. La continuación del proceso extiende la tubificación a las cuarcitas de grano fino, y en la medida en que se canaliza y circula más agua en el acuífero subterráneo, el proceso permite excavar conductos y galerías que pueden llegar a perforar toda la serie estratigráfica.

La dirección final que toma el drenaje subterráneo está controlada por una suma de factores (topográficos, hidrológicos, litológicos y estructurales), y particularmente por la posición que ocupan las surgencias. Como en el karst clásico en calizas, la estructura creada por el drenaje subterráneo difiere considerablemente del patrón de fracturación y del dispositivo inicial (GALÁN 1991). El aspecto central en la evolución del sistema aparece una vez que una parte de las aguas de infiltración logra crear caminos preferenciales que interconectan las zonas de alimentación con las de surgencia. En esta trama, los niveles litológicamente más débiles y friables constituyen las zonas que oponen menor resistencia a la circulación de las aguas. La localización espacial de estas zonas, con respecto a la zona de surgencia, condicionan el inicio del proceso.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Hecha esta descripción, cabe decir que no entendemos en su totalidad qué factores gobiernan el cavernamiento en las cuarcitas. Y de modo inverso también podemos afirmar que desconocemos en términos semejantes cómo procede el modelado de superficie.

El mayor problema teórico reside en que podemos observar las formas existentes, y encontrar algunas evidencias puntuales de lo que puede haber influido localmente (p.ej. el agua ha ampliado esta diaclasa o ha seguido este plano de estratificación), pero estos datos no son extrapolables a un conjunto mayor, donde

aparentemente estarían involucrados los mismos tipos de roca y los mismos rasgos estructurales.

Bajo un aspecto de homogeneidad aparente, las cuarcitas de Roraima (y las formas del relieve que constituyen los tepuys) encierran una gran diversidad y heterogeneidad. La repetición de rasgos similares a lo largo de kilómetros y el enmascaramiento superficial de las cuarcitas bajo una película film de cianobacterias, hacen que muchos detalles pasen desapercibidos. Debido a la horizontalidad de los estratos, tendemos a creer que las mismas unidades se extienden sin cambio sobre grandes distancias. Sin embargo, la realidad puede ser distinta. Las cuarcitas de la Formación Matauí presentan cambios verticales de facies de unos estratos a otros, pero también es probable que existan cambios laterales de facies en los mismos estratos, y que éstos resulten más difíciles de apreciar por la monotonía del paisaje rocoso.

Las características petrográficas de las cuarcitas son variables y evidencian que estos sedimentos (sometidos a metamorfismo de muy bajo grado) constituyen una heterogénea secuencia transicional, con ambientes de sedimentación continentales someros, próximo costeros, de playa y deltaicos, a veces con canales entrelazados de ríos y/o canales de marea, y localmente eólicos (BRICEÑO & SCHUBERT 1992). Es por ello altamente probable que existan cambios laterales de facies, además de los descritos cambios verticales.

En el sistema de cuevas encontramos en muchos puntos testigos de niveles delgados de limolitas y lutitas, intercalados en las cuarcitas, pero de modo discontinuo; y a diferentes niveles, no a un único nivel. El espesor y las características físicas apreciables de estas intercalaciones, son variables de un punto de observación a otro. También hay variaciones laterales a lo largo de los estratos de cuarcita de grano fino, con presencia de laminaciones y veteados por óxidos de hierro variables a lo largo de un mismo estrato. Se puede decir que las galerías internas de la cueva son un lugar óptimo para observar muchos detalles de la estructura primaria de las cuarcitas, pero cartografiar tales rasgos es una difícil y laboriosa tarea, que no está al alcance de una normal prospección espeleológica.

Hemos destacado que el grado de alteración o arenización de las cuarcitas es perfectamente apreciable en las galerías hidrológicamente activas y en muchas otras de régimen temporal o de atmósfera húmeda. La exploración y cartografía del sistema de cuevas muestra que hay un nivel preferente de excavación de conductos, que aparentemente sigue los estratos más friables, de cuarcitas de grano fino a muy fino con intercalaciones locales de limolitas, y eventualmente atraviesa unidades de estratificación gruesa y grano grueso con estratificación interna cruzada y en cubeta. Suponemos que algunos de los niveles han actuado, en conjunto, como una zona de debilidad litológica en la serie, para permitir que ocurra el drenaje subterráneo y el cavernamiento.

Sin embargo, en superficie no encontramos estos niveles de limolita, y aparentemente las unidades de cuarcita de grano medio a grueso se comportan como mucho más resistentes que las de estratificación delgada y grano fino.

Por otro lado, desconocemos la extensión lateral que pueden tener los niveles de limolitas y si sólo son meteorizables precisamente donde está la cueva. De modo inverso, en la morfología de superficie, no es claro a qué es debido que en algunos lugares se conserven buttes o se formen depresiones planas (o cualquier otro accidente) y en otros no, aunque la misma roca original -aparentemente- cubre grandes extensiones. O qué determina que algunas fracturas y diaclasas sean disueltas y ampliadas, y otras no.

Con ello queremos decir que las evidencias positivas (estratigráficas y estructurales), observadas in situ, no permiten explicarlo todo. Es el trabajo erosivo de las aguas lo que termina modelando el relieve que hoy observamos. Como ejemplo a gran escala podríamos decir que entendemos a grandes rasgos cómo se han formado los tepuys, por efecto de la erosión química y mecánica a lo largo del tiempo, y hay evidencias de una serie de mecanismos y procesos involucrados en esta evolución, pero no contamos con una explicación que de cuenta de sus formas actuales o de su distribución en la región. Los espacios vacíos, intertepuys, no cuentan con una «explicación», son simplemente el resultado del modelado erosivo.

Conviene recordar el hecho, aparentemente banal, de que las cavernas son también «vacíos», contenidos por la roca que las rodea. Las cavernas son parte de un sistema, en el que no sólo la roca, sino también el agua que circula a través de ellas, pasan a ser constituyentes esenciales. El agua es el sujeto activo y la roca el soporte pasivo de su acción. Las cavernas son así una parte de un sistema de drenaje subterráneo, en el que intervienen procesos hidrogeológicos asociados a condiciones morfogenéticas. En el interior del sistema existe una interacción entre los equilibrios químicos responsables de la disolución de la roca y la velocidad y características de las circulaciones de agua. Dicha interacción genera una estructura subterránea y a la vez una morfología de superficie asociada (BAKALOWICZ 1982). Lo esencial del proceso de karstificación reside en que se logre establecer una red de drenaje subterráneo que a la vez ocasione la desaparición más o menos completa del drenaje superficial, independientemente de que las rocas involucradas sean más o menos «solubles» (GALÁN 1991).

En el caso de rocas silíceas como las cuarcitas, y en particular en el sistema que nos ocupa, la formación de cavidades ha ocurrido bajo un conjunto de condiciones topográficas, litológicas, hidrológicas y estructurales, que al conjugarse o presentarse juntas, han resultado favorables. Pero las condiciones litológicas solas no explican el cavernamiento. En las áreas anexas al sistema de cuevas, las mismas litologías se han revelado impermeables, y sobre ellas la roca puede ser disuelta, rebajada, disectada y removida completamente por la erosión de superficie, sin que se produzca infiltración o cavernamiento.

A diferencia del karst clásico en calizas, las cuarcitas de Roraima son primariamente impermeables. Ello es probado ampliamente por la existencia en el tepuy de un drenaje epígeo (a veces o en parte encajado en la fisuración, pero no subterráneo), con nume-

rosas lagunas, turberas y riachuelos, que desaguan en cascadas al alcanzar los bordes. Pero la misma roca primariamente impermeable es a la vez localmente cavernable, como lo prueba el sistema de cuevas descrito. En adición, la mayor parte del caudal que ingresa al sistema de drenaje subterráneo procede de cuencas epígeas instaladas sobre el mismo tipo de rocas. En las depresiones de superficie se forman extensas lagunas de poco fondo, riachuelos y flujos laminares, los cuales ingresan al sistema subterráneo anexo, sin existir infiltración en esas áreas, aunque bajo ellas se extienden y están involucradas -al parecer- las mismas unidades litológicas. Estas contradicciones son las que nos hacen reflexionar que no entendemos la totalidad del proceso.

El modelado de las cuarcitas es muy distinto al de un karst de calizas, sin embargo, estas rocas pueden ser karstificadas localmente, formando sistemas de drenaje subterráneo, con simas y cavernas extensas, cuando se reúnen un conjunto de condiciones y factores. Los datos aportados por el Sistema Roraima Sur constituyen un eslabón para entender la entera cadena de acontecimientos.

En esta nota hemos propuesto una hipótesis evolutiva para el sistema, pero nuestra mayor conclusión es que resulta necesaria más investigación para seguir avanzando en la comprensión del cavernamiento en cuarcitas. La mejor fuente de nuevos datos, evidencias e ideas seguramente procederá de las futuras exploraciones y estudios.

AGRADECIMIENTOS

A los integrantes de las expediciones de la Sociedad Venezolana de Espeleología (SVE) al tepuy Roraima, que participaron en la exploración de este sistema, y de modo especial a Rafael Carreño, Wilmer Pérez La Riva, María Alejandra Pérez y Marian Nieto, tanto por su contribución fotográfica para ilustrar esta nota como por hacernos llegar sus observaciones. A Franco Urbani, Josu Maguregi y dos revisores anónimos por la revisión crítica del manuscrito y sus útiles sugerencias.

BIBLIOGRAFÍA

Bakalowicz M. 1982. La genése de l´acuifére karstique vue par un geochimiste. *Karst Larra 82*, Publ. Serv. Geol. Dip. Navarra: 159-174.

Briceño H. & C. Schubert. 1992. Geomorfología. En O. Huber (ed.) *El Macizo de Chimantá, Escudo de Guayana, Venezuela*. O. Todtmann Editores, Caracas, pp. 61-74.

Galán C. 1988. Cavernas y formas de superficie en rocas precámbricas del Grupo Roraima (Guayana Venezolana). *Bol. Soc. Venezolana Espeleol.* 23: 1-12.

Galán C. 1991. Disolución y génesis del karst en rocas carbonáticas y rocas silíceas: un estudio comparado. *Munibe* (Ciencias Naturales), Soc.Cienc.Aranzadi, 43: 43-72.

Galán C. 1995. Exploración y estudio de cavidades en rocas silíceas precámbricas del Grupo Roraima, Guayana Venezolana: una síntesis actual. *Karaitza*, UEV, España 4: 3-12.

Galán C. & J. Lagarde. 1988. Morphologie et évolution des cavernes et formes superficielles dans les quartzites du Roraima. *Karstologia* 11-12: 49-60.

Martini J. 1982. Karst in Black Reef and Wolkberg Group quartzite of eastern Transvaal escarpment, South Africa. *Bol. Soc. Venezolana Espeleol.* 10(19): 99-114.

Martini J. 1984. Rate of quartz dissolution and weathering of quarzite. *Bull. South African Speleol. Assoc.* 25: 7-10.

Renault P. 1971. *La formación de las cavernas*. Ed. Oikos-Tau, Barcelona, España, 124 p.

Schubert C. 1984. Orígenes geológicos de la Gran Sabana. Paleoclimatología cuaternaria de la cuenca. En C. Galán (ed.). *La Protección de la cuenca del río Caroní*. CVG-Edelca, Div. Cuencas e Hidrología, Caracas, pp. 40-45.

Schubert C. & O. Huber. 1989. *La Gran Sabana: Panorámica de una región*. Cuadernos Lagoven, Caracas, 107 pp.

Schubert C., H. Briceño & P. Fritz. 1986. Paleoenvironmental aspects of the Caroní-Paragua river basin (southeastern Venezuela). *Interciencia* 11(6): 278-289.

Urbani F. 1986. Notas sobre el origen de las cavidades en rocas cuarcíferas precámbricas del Grupo Roraima, Venezuela. *Interciencia* 11(6): 298-300.



OBSERVACIONES SOBRE LAS ESPELEOTEMAS DEL SISTEMA RORAIMA SUR

Rafael Carreño B.[1] & Franco Urbani[1,2]
[1]Sociedad Venezolana de Espeleología. Apartado 47.334, Caracas 1.041-A. rafaelcarreno2004@yahoo.es
[2] Universidad Central de Venezuela. Escuela de Geología. Caracas 1053. Venezuela.urbani@cantv.net

Recibido en julio de 2005

RESUMEN

Tras un breve recuento de las formaciones secundarias halladas por la Sociedad Venezolana de Espeleología (SVE), en tres décadas de estudios desarrollados en cavidades abiertas en areniscas de la Guayana venezolana, se presenta la descripción de las espeleotemas de ópalo amorfo identificadas por difracción de rayos X (DRX) en el Sistema Roraima Sur, la mayor caverna del mundo abierta en esa litología del Grupo Roraima de edad Precámbrico. Se establece el lento proceso y las condiciones que originaron estas mineralizaciones destacadas por la gran cantidad de estalactitas con forma de anemolitas, cuya inclinación muestra la influencia de constantes corrientes del aire durante su crecimiento, alimentadas por condensación y capilaridad. El microclima que afecta el sector entre las bocas de la cavidad establece patrones como las dimensiones, concentración, distribución espacial, ángulo de rotación, etc.

Palabras claves: Espeleotemas, estalactitas, anemolitas, ópalo amorfo, karst en cuarcitas, tepuy, Roraima, Venezuela.

ABSTRACT

Observation on the speleothems of the Roraima South System, Venezuela.

A brief summary of the secondary deposits found by the Venezuelan Speleological Society (SVE) in the last three decades of studies in caves opened in quartzite rocks of the Venezuelan Guayana is presented. The study also includes a description of the amorphous opal speleothems identified by X-ray diffraction (XRD) in the Roraima Sur System, the longest cave of the world opened in quartzitic rocks of the Roraima Group of Precambrian age. The slow processes and the conditions which originated this mineralization are established, underlining the large amount of stalactites with anemolite morphology, who had an inclination due to the influence of constant air flow during the crystals grow, fed by condensation and capillarity. The microclimate affects the zone between the entrances of the cavern establishing the patterns of dimension, concentration, spatial distributions, rotation angle, etc.

Key words: Speleothems, stalactites, anemolites, amorphous opal, quartzite karst, tepuy table mountain, Roraima, Venezuela.

INTRODUCCIÓN

El Grupo Roraima constituye una secuencia sedimentaria originada hace unos 1.700-1.800 millones de años, que en la actualidad conserva un espesor de unos 3.000 m, la cual fue sometida a un metarmorfismo de bajo grado. El Grupo abarca un área discontinua que casi llega al medio millón de km^2, desde la margen derecha del río Orinoco y hasta el norte de Brasil; entre el cerro Autana al oeste (estado Amazonas) y los montes Tafelberg al este (Surinam), ocupando casi un tercio del escudo guayanés.

Allí el régimen de pluviosidad es muy elevado, cercano a los 4.000 mm/anuales, con lluvias ácidas cuyo pH está entre 3 y 5, lo cual le confiere al agua un escaso grado de poder de disolución sobre el cuarzo, en las aguas se han medido valores subsaturados de 1 a 6 mg/l de sílice. En los bordes de las cumbres, e incluso en otras zonas relativamente planas, es donde se observan las más extensas karstificaciones. Estas zonas han permitido determinar que el cemento silíceo intergranular es el material más vulnerable a la disolución, mientras que el gran volumen de arena disgregada es desalojada por el fenómeno de tubificación, a modo de un reloj de arena (Urbani 1977, 1986; Galán 1995).

En general, la aparente escasez de mineralizaciones secundarias en cavidades de rocas cuarcíticas de otros tepuys se debe a que los espeleólogos están acostumbrados a trabajar en otras litologías, las cuales suelen hallarse relativamente más decoradas de espeleotemas de calcita. En expediciones previas se hizo frecuente hallar en Venezuela cuevas de cuarcitas mostrando costras de ópalo amorfo, cubriendo superficies de pocos decímetros, con entre un milímetro y pocos centímetros de espesor promedio, teniendo un origen biogénico (Urbani 1976, 1996). En ese contexto habían llamado la atención las estalactitas halladas en la Sima de la Lluvia de Sarisariñama (SVE 1976).

Producto del contínuo estudio geoespeleológico llevado a cabo por la Sociedad Venezolana de Espeleología (SVE) en decenas de cavidades tepuyanas, se ha reportado hasta ahora ocho minerales secundarios que ocurren en el ámbito subterráneo de los tepuys bajo condiciones de presión y temperatura ambiental. Durante el trabajo científico se ha contado con la cooperación de la Escuela de Geología de la Universidad Central de Venezuela en cuanto a recursos de laboratorio.

Según Urbani (1996), los minerales secundarios reportados para el karst del Escudo Guayanés son:

-Nitrammita (Sima Aonda) y sveita (Cueva del Cerro Autana) del grupo de los nitratos.

-Goethita (cuevas de Ciudad Piar, Sima de la Lluvia y Sima Aonda 3) y litioforita (Sima Menor de Sarisariñama) entre los óxidos-hidróxidos.

-Evansita (Cueva de Urutany 1 y 2, Cueva de Aguapira 9) del grupo de los fosfatos.

-Calcedonia (Cueva del Cerro Autana) y opalo-A (reportado en al menos la mitad de las cuevas de la región) representando al grupo de los silicatos.

-Trazas de calcita (Cueva del Cerro Autana), perteneciente al grupo de los carbonatos.

Hay que notar que el reporte de un nuevo mineral para la ciencia, como la sveita, resulta un hecho poco frecuente en el área de las geociencias (MARTINI & URBANI 1984).



La superficie de las estalactitas puede presentar diversas texturas, mayoritariamente de aspecto rugoso y oscuro; la inclinación puede variar ligeramente entre unidades contiguas (Foto: R. Carreño).

ESPELEOTEMAS DEL RORAIMA

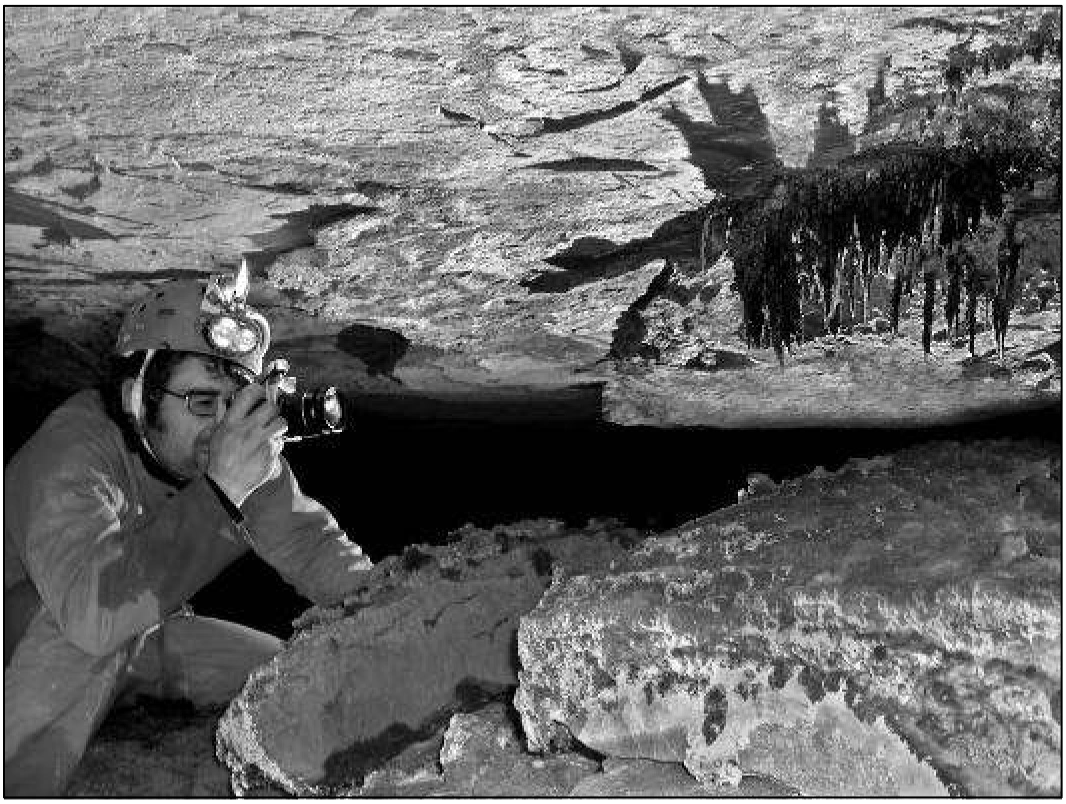
En el Sistema Roraima Sur (Bo.93), se observaron diversas manifestaciones de las formaciones de ópalo ($SiO_2.nH_2O$), identificadas por el método de difracción de rayos X en base a cinco pequeñas muestras de diferentes morfologías. En esta localidad fronteriza las espeleotemas destacaban por su gran abundancia y por adquirir formas muy complejas. El ópalo también es el más abundante mineral hallado en otras cavernas de cuarcita, pero en el caso de Roraima la morfología horizontal de sus galerías, entre otros factores, ha sido determinante para facilitar el proceso de precipitación a gran escala.

Las variadas formas secundarias del Sistema Roraima Sur a grosso modo se asemejan a las formas de las espeleotemas de calcita halladas en cavidades de roca caliza, pero en una magnitud más pequeña, es decir que en el tepuy también se hallaron breves cortinajes, coladas, bordes estalagmíticos, microgours, helictitas, etc; aspecto no mencionado en anteriores trabajos. Sin embargo, hay que recordar que en esta localidad los silicatos se han depositado debido a procesos diferentes a los observados en las típicas formaciones de rocas carbonáticas halladas en el norte del país.

Entre las diferentes microformas observadas en el Sistema Roraima Sur resalta principalmente la presencia dominante de las estalactitas y las costras, las cuales son particularmente abundantes en las galerías Central y del Este (PÉREZ & CARREÑO 2004).

DISTRIBUCIÓN Y ORIGEN DE LAS ESPELEOTEMAS

Dichas estalactitas se hallan a todo lo largo del Sistema Roraima Sur, no solamente cerca de las aberturas, sino principalmente a centenares de metros de las entradas, en la zona de oscuridad total. Las espeleotemas se agrupan en conjuntos que reúnen varias decenas o centenares de estalactitas que se distribuyen ocupando desde unos pocos decímetros del techo, hasta varios metros cuadrados de la superficie cenital (ver fotos en color en reverso de contratapa).



Las agrupaciones de espeleotemas de ópalo suelen ubicarse en discontinuidades del techo. Nótese que por falta de goteo no hay estalagmitas formándose sobre el bloque infrayacente, más bien, éste se halla cubierto por una costra homogénea (Foto: R. Carreño).

En el caso de los tepuys la cristalización del ópalo ocurre gracias a dos procesos, la lenta escorrentía y la condensación. La influencia de la escorrentía está condicionada a las situaciones cuando ella es muy escasa, manifestándose en finas películas. Es de notar que el mineral no suele formarse en los puntos del techo donde se infiltra abundantemente el agua, debido a que el soluto proveniente del cemento silíceo no llega a saturar al líquido, al ser arrastrado cuando el drenaje es muy activo. Igualmente, en el lecho del río subterráneo, cerca del drenaje de aguas vadosas, tampoco se reportan espeleotemas. La precipitación del silicato ocurre alrededor de pequeñas grietas del techo, por otro lado, también se observan las mineralizaciones en superficies totalmente planas y limpias donde no hay agrietamiento aparente, y donde no son evidentes los procesos de infiltración.

El otro proceso que facilita notablemente la cristalización secundaria, la condensación, se debe a fenómenos atmosféricos poco influenciados por la escorrentía, cuando la acción del aire confinado en la cueva es determinante para el aporte de una escasa humedad en la superficie de las rocas. La ligera diferencia de temperatura relativa entre el aire y la roca es determinante para que el proceso de condensación aporte humedad adicional a las extensiones más expuestas de la cuarcita como son las convexidades. Numerosas espeleotemas se hallan en los bordes inferiores y en las aristas de algunos grandes bloques que no reciben goteo, por lo que al estar los ángulos, ligeramente más sometidos a las corrientes de aire, la evaporación en este relieve también parece ser más influyente.

La distribución del ópalo sugiere que la acumulación del material pudiera alimentarse a un ritmo sumamente lento gracias a mínimos volúmenes de humedad almacenada en las fisuras o en superficies intergranulares dentro de la roca, debido a cierta porosidad subsuperficial de la cuarcita, en áreas donde la meteorización de la roca caja ha vuelto el techo y el exterior de los bloques más permeables, incluso llegando al punto de arenizar la roca caja. La mayor lentitud de los procesos y la menor cantidad de agua posible permite que la concentración del mineral disuelto sea suficiente como para precipitar. Las aguas son ácidas tanto en el modo de alimentación por infiltración así como en el de condensación, aspecto que juega un rol importante.

El clásico patrón de estalactitas en el techo ubicadas sobre coladas o estalagmitas infrayacentes es raro en el tepuy, ya que el fenómeno de goteo estalactítico no es frecuente.

EFECTOS MICROCLIMÁTICOS

Debido a la particular meteorología del ámbito tepuyano se movilizan importantes masas de aire saturadas de humedad, frecuentemente conteniendo abundantes microgotas suspendidas en forma de aerosol, que contribuyen a mantener constantemente activos los procesos geoquímicos, incluso en galerías subterráneas hidrológicamente inactivas.

Las condiciones ambientales influyen notablemente en el crecimiento y en la forma de las espeleotemas, ya que gran parte de las que se hallan en el centro de las mayores galerías están notablemente inclinadas. Las estalactitas ubicadas en laterales no afectados por la ventilación de las bocas tienen un desarrollo vertical.

En general dicha inclinación de las estalactitas puede llegar a los 35º respecto a la vertical en el sector aguas arriba de la cueva, mientras en el tramo aguas abajo de la cavidad se han reportado inclinaciones que superan los 55°. Las mayores inclinaciones reflejan fases de gran actividad atmosférica entre las numerosas

bocas, todo ello facilitado por una brisa subterránea que es empujada por el mismo viento que surca la superficie del tepuy.

El fuste de las estalactitas inclinadas suele ser bastante rectilíneo, lo que refleja la presencia de una importante y homogénea corriente de aire que modifica la verticalidad de las estalactitas, convirtiéndolas en lo que morfológicamente los geoespeleólogos denominan anemolitas. Ello indica que las unidades crecen longitudinalmente en la punta y de manera simultánea hay un crecimiento lateral que es predominante en uno de sus flancos, el que está más expuesto a sucesivas fases de condensación del agua y de precipitación del mineral.

Ocasionalmente la inclinación de varias espeleotemas contíguas registra distintos ángulos, lo que sugiere que el régimen eólico dentro de las galerías varió prolongadamente. La diferencia de ángulos entre unidades vecinas puede oscilar entre 10º y 20º. Incluso algunas estalactitas se han desarrollado a lo largo de varias fases, con una base que tiene una inclinación determinada y un extremo con otra inclinación distinta, lo que comprue,ba la alternancia de condiciones distintas.El crecimiento cercano a la verticalidad debió ocurrir en períodos con escasa o nula ventilación, mientras que los mayores ángulos reflejan una prolongada influencia de corrientes de aire.

De esta evidencia se puede inferir que la cavidad ha estado sometida a distintas condiciones de confinamiento, el cual se ha modificado un poco en el transcurso de largos períodos de tiempo, cuando se ha limitado o facilitado el paso de las corrientes de aire. Ello sugiere que hipotéticamente en algunas etapas durante el desarrollo de la cueva uno o más conductos pudieron haber reducido su diámetro, probablemente por derrumbes en las bocas o por el sifonamiento o sedimentación de pasos estrechos, lo que afectaría la circulación del aire, en momentos en los que las espeleotemas tendrían un crecimiento más vertical. En el caso opuesto, la reapertura o ensanchamiento de los conductos y el desarrollo de nuevas conexiones permitiría el crecimiento inclinado en forma de anemolitas.

Hay que notar que en la actualidad la ventilación de la cueva depende notablemente de la dolina de entrada, la cual puede captar aire frío y descendente durante los escasos días de poco viento, mientras que en los numerosos días venteados el aire podría ingresar dentro de la cavidad por simple efecto de la presión, sin importar tanto la diferencia relativa entre la temperatura del interior y la del exterior.

Incluso sin el uso de anemómetros, durante la exploración de la cavidad se notaba la ventilación de los conductos en los sectores más angostos y de un día a otro la temperatura en el interior de la cueva variaba ligeramente. Esta variación térmica resulta poco usual en la zona afótica, lejos de las bocas.

MORFOLOGÍA DE LAS ESTALACTITAS

La longitud promedio de las estalactitas oscilan entre la escala centimétrica hasta la escala decimétrica, con unidades que llegan hasta los 30 ó 40 cm o incluso más. El diámetro oscila entre varios



Costra de ópalo en forma de tabique o parecido a un gour irregular, sin embargo el origen de este borde estalagmítico no se debe al empozamiento de agua, sino a la condensación ambiental encima de un bloque caído en el piso. La imagen tiene unos 20 cm de ancho (Foto: R. Carreño).

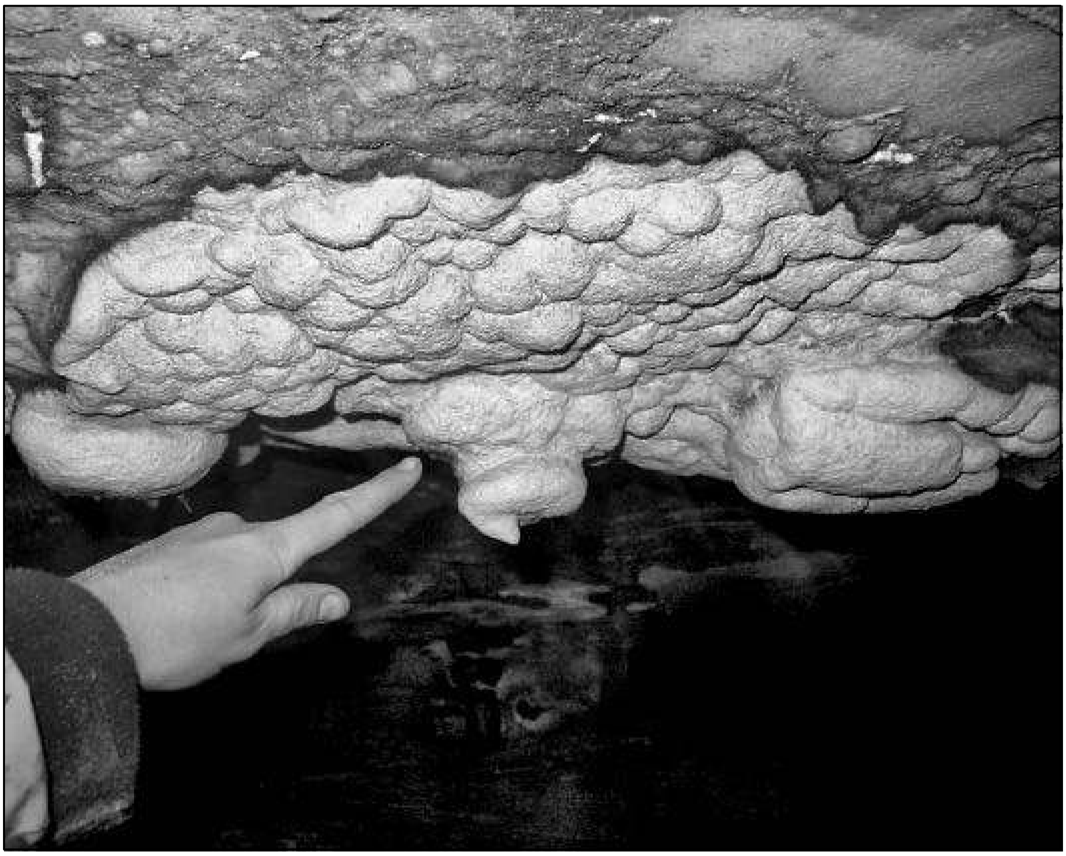
milímetros hasta uno o dos centímetros, con mayor grosor en la base. Las estalactitas del subsistema superior de la cueva suelen tener puntas más romas y cuerpo relativamente cilíndrico, mientras las del sector río abajo suelen tener puntas finas y con un cuerpo ligeramente cónico.

El desarrollo de las estalactitas en el Sistema Roraima Sur parece haberse iniciado de manera similar a las costras de ópalo que han sido observadas anteriormente en las cavidades verticales de los tepuys. Es decir que, en las superficies, algunos racimos alargados de ópalo sobresalen de una superficie coralinoidea y luego debieron haber crecido preferentemente al descender las pequeñas gotas de agua. Algunas estalactitas presentan un canal interior de drenaje, aunque durante la exploración pocas veces se observaron gotas en sus puntas. El peso del agua no parece superar la fuerza de la tensión superficial, por lo que la capilaridad parece influir más que la ocasional escorrentía del agua.

La rugosa superficie coralinoidea de los minerales es similar a lo que ya se ha reportado en otras localidades donde se han registrado formaciones de ópalo. En general el contorno de las estalactitas presenta una superficie irregular, algunas de ellas presentan espículas laterales, a modo de ramificaciones en forma de pequeñas helictitas, también producto del aporte de humedad por medio de capilaridad.

OTRAS ESPELEOTEMAS

Otro tipo de mineralización que se observó en los pisos arenosos eran extensas coberturas superficiales que formaban costras de tex-



Costra de ópalo en el techo del Sistema Roraima Sur donde se observa el proceso de crecimiento de una incipiente estalactita en el centro de una gruesa costra de color claro (Foto: M. A. Pérez).

tura homogénea, casi planas, distribuidas a lo largo de laminadores completos, con lo cual se hallan cubiertos varios metros cuadrados. A primera vista este material parece constituir simples dunas o rampas sub-horizontales de arena, pero en su tope tienen capas semi-solidificadas relativamente débiles y friables, que se agrietaban con facilidad debido a su escaso espesor, de entre uno y tres centímetros.

Este fenómeno se observó en salones laterales de techo bajo, que estaban fuera del alcance de las inundaciones del río subterráneo. El origen de estas extensas costras tampoco se debe vincular al goteo del techo, ya que no había huellas que lo atestiguaran. Se podría suponer que estas formaciones se generaron muy lentamente, debido a un proceso de imbibición de la duna de arena desde su base, y paralelamente debido al humedecimiento que pudo alimentarse desde arriba por la misma condensación ambiental. En este caso la influencia de la ventilación de la cueva también favorece cierta evaporación que ocasiona la sobresaturación del sílice en la superficie de las suaves rampas, con lo cual logra precipitarse el ópalo que re-cementa los granos de arena.

Probablemente la fragilidad de estas formas se debe a su escaso espesor, su morfología horizontal y a un sustrato relativamente blando constituido por la acumulación de microcistales, lo cual las hace vulnerables a las pisadas.

RELACION CON OTROS ESTUDIOS

Las mineralizaciones del Sistema Roraima Sur se hallan cubiertas sub-superficialmente por una capa de hongos, algas y bacterias, al igual de lo que ya se ha reportado en el desarrollo de las típicas costras y estalactitas de ópalo de otras cavidades abiertas en arenisca, lo cual resulta en un aspecto general muy oscuro, mientras la roca caja circundante no parece haber sido colonizada por estas microformas de vida.

Además de observaciones realizadas en otros países, para karsts en rocas calizas, esta interacción entre microorganismos y rocas se ha reportado en Venezuela para Sarisariñama por KUNICKA (1982), para Guayana venezolana y Táchira por URBANI (1996) quien presenta imágenes de estructuras residuales de origen biológico, y recientemente se menciona nuevamente para Táchira (GONZÁLEZ 1999).

A medida que se realizan estudios más detallados, la influencia biogénica resulta menos escasa de lo que hace décadas se pensaba y en diferentes contextos ello es un factor importante en los procesos de precipitación de algunas espeleotemas (HILL & FORTI 1997), pero específicamente se ha planteado como una variable interviniente en las formaciones de ópalo provenientes de cuevas abiertas en cuarcitas, ubicadas en los tepuys y en el Páramo de Tamá, estado Táchira (URBANI 1996).

Existe otro interesante estudio geoespeleológico vinculado a una cueva del Escudo Guayanés, aunque no directamente relacionado con los minerales estudiados en Roraima, el cual ejemplifica la lentitud del proceso de formación de las espeleotemas de ópalo. Se estudiaron por primera vez los isótopos de oxígeno y carbón provenientes de la Sima de la Lluvia de Sarisariñama, determinando la edad de la mineralización secundaria por el método del Torio^{230}. Sobre una estalactita de varios centímetros de largo y menos de 1 cm de diámetro promedio, observada en el campo para 1976 como sujeta a una fase activa de precipitación, se establecieron dos edades correspondientes a 53.300 +/-800 años y 27.260 +/-420 años (GONZÁLEZ & GÓMEZ 2002).

Como ejemplo relativo, los mismos autores datan una estalagmita de 1 m de largo y unos 7 cm de diámetro promedio proveniente de Falcón, la cual alcanzó una edad de 11.000 +/-85

años en la base, lo cual muestra una gran diferencia respecto a lo reportado en el párrafo anterior para la cavidad tepuyana. Sin embargo hay que notar que ambas estructuras no se pueden comparar debido a las diferencias morfológicas al provenir de una mineralización del piso, debido a diferencias geoquímicas al tratarse de otro tipo de roca más soluble, diferencias paleoclimáticas gracias al diferente régimen meteorológico de los macizos, diferencias entre ambos microclimas subterráneos, etc.

COMENTARIOS

La conservación de las formaciones descritas en estas páginas estaría amenazada por la afluencia masiva de turistas que, desde la década de los noventa, se ha intensificado en el lado sureste del tepuy sin contar con planes de manejo (CARREÑO 2004).

Las estalactitas y otras formas son vulnerables a la fractura. Su falta de atractivo estético las hace poco llamativas, debido a su aspecto opaco y rugoso que carece de la belleza de otros materiales.

Es conveniente que se tomen ciertas medidas iniciales para lograr preservar las condiciones naturales y los distintos elementos que esta interesante cavidad contiene.

AGRADECIMIENTOS

A Francisco Herrera por su diligencia antes, durante y después de las expediciones. A dos árbitros anónimos del Boletín que sugirieron modificaciones al manuscrito original. A María Alejandra Pérez por una de las fotografías de un techo opalino.

REFERENCIAS

CARREÑO R. & F. BLANCO. 2004. Notas sobre la exploración del Sistema Kárstico de Roraima Sur, estado Bolívar. *Bol. Soc. Venezolana Espeleol.*, 38: 44-51.

GALÁN C. 1995. Exploración y estudio de cavidades en rocas silíceas precámbricas del Grupo Roraima, Guayana Venezolana. *Karaitza*, San Sebastián. 4: 3-12.

GONZÁLEZ F. 1999. Espeleotemas de algas (Cyanophytas) y Briophytas (Hepáticas), Cueva La Claraboya y Cueva La Sala, Páramo El Tamá, Edo. Apure. V Jornadas Venezolanas de Espeleología. 34-35.

GONZÁLEZ L. & R. GÓMEZ. 2002. High resolution speleothem paleoclimatology of northern Venezuela: a progress report. *Bol. Soc. Venezolana Espeleol.*, 36: 51-53.

HILL C. & P. FORTI. 1997. *Cave minerals of the world.* 2nd ed. National Speleological Society, USA. 463 pp.

KUNICKA-GOLDFINGER W. 1982. Preliminary observations on the microbiology of karst caves of the Sarisariñama plateau in Venezuela. *Bol. Soc. Venezolana Espeleol.*, 19: 133-136.

MARTINI J. & F. URBANI. 1984. Sveita, un nuevo mineral de la cueva del Cerro Autana (Am.11) Territorio Federal Amazonas, Venezuela. *Bol. Soc. Venezolana Espeleol.*, 21: 13-16.

PÉREZ M. A. & R. CARREÑO. 2004. Exploration of the Roraima Sur Cave, Bolivar State, Venezuela, the longest quartzite cave in the world. Journal of Cave and Karst Studies, National Speleological Society, USA. 66(3): 116.

SVE – SOCIEDAD VENEZOLANA DE ESPELEOLOGÍA. 1976. Bo.3 - Sima de la Lluvia de Sarisariñama. *Bol. Soc. Venezolana Espeleol.*, 7(13): 97-99.

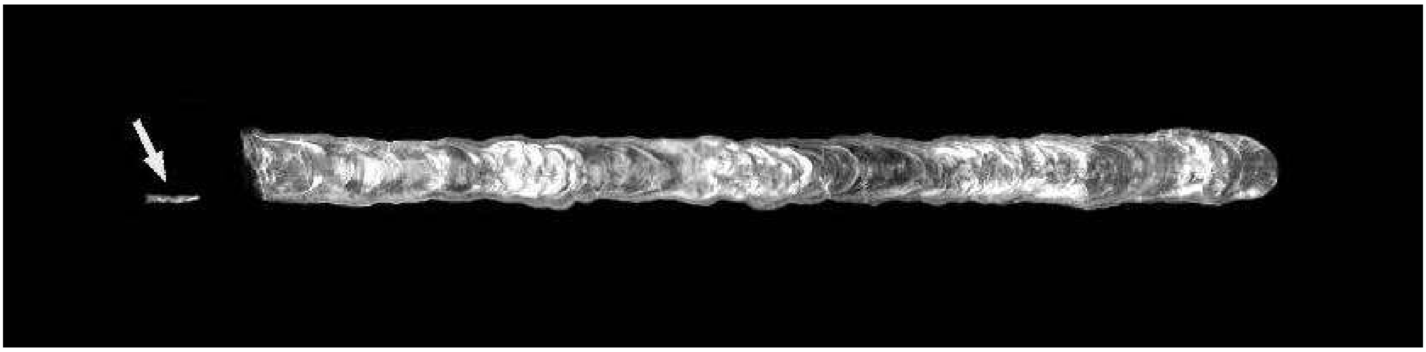
SVE – SOCIEDAD VENEZOLANA DE ESPELEOLOGÍA. 2004. Bo.93 - Sistema Roraima Sur. *Bol. Soc. Venezolana Espeleol.*, 38:34-40.

URBANI F. 1976. Ópalo, calcedonia y calcita en la cueva del cerro Autana (Am.11), Territorio Federal Amazonas, Venezuela. *Bol. Soc. Venezolana Espeleol.*, 7(14): 129-145.

URBANI F. 1986. Notas sobre el origen de las cavidades en rocas cuarcíferas precámbricas del Grupo Roraima, Venezuela. *Interciencia*, 11(6): 298-300.

URBANI F. 1996. Venezuelan cave minerals, a review. *Bol. Soc. Venezolana Espeleol.*, 30: 1-13.

URBANI F., S. TALUKDAR, E. SZCZERBAN & P. COLVEE. 1977. Metamorfismo en las rocas del Grupo Roraima, estado Bolívar y Territorio Federal Amazonas. Memorias del V Congreso Geológico Venezolano. Caracas, 2: 623-638.



Gran estalagmita de la Cueva Zárraga (Fa.55) con varios kilos de peso de calcita depositados a lo largo de 11 mil años, junto a pequeña estalactita de ópalo resaltada con la flecha, proveniente de Sarisariñama (Bo.3), la cual sólo presenta varios gramos de peso depositados durante 27 a 53 mil años (Foto: R. Gómez).

CATASTRO ESPELEOLÓGICO DE VENEZUELA

En esta sección se irán reuniendo los datos de carácter morfológico, topográfico y toponímico de las cuevas de Venezuela. Para cada cueva se aportarán los datos exactos de ubicación así como el levantamiento topográfico (planta y sección) elaborado como mínimo con la ayuda de cinta métrica, brújula y clinómetro.

Las cuevas serán enumeradas independientemente para cada estado, según el orden cronológico de publicación en este boletín, y serán identificadas mediante la siguiente clave:

Am.	Amazonas	DA.	Delta Amacuro	NE.	Nueva Esparta
An.	Anzoátegui	DF.	Distrito Federal	Po.	Portuguesa
Ap.	Apure	Fa.	Falcón	Su.	Sucre
Ar.	Aragua	Gu.	Guárico	Ta.	Táchira
Ba.	Barinas	La.	Lara	Tr.	Trujillo
Bo.	Bolívar	Me.	Mérida	Ya.	Yaracuy
Ca.	Carabobo	Mi.	Miranda	Zu.	Zulia
Co.	Cojedes	Mo.	Monagas		

Los colaboradores en la sección ‘‘topografía” serán los únicos responsables de la exactitud de los datos suministrados. El material enviado para su publicación quedará en propiedad de la SVE.

Bo. 93 - Sistema Roraima Sur

Cumbre de Roraima, estado Bolívar.
5º 09´ 23" Lat. N, 60º 46´ 26" Long. O
UTM: 570.430 N, 746. 780 E, zona 20 N, REGVEN
Hoja: MMH hoja 8031-III-NE
Altitud: 2.746 m s.n.m.
Localización: A 71,4 km al NNE de Santa Elena de Uairén
Desarrollo: 10.820 m. Desnivel: -72 m (+0, -72)
Topografía: C. Galán, R. Carreño, F. Herrera, W. Pérez, J. Astort, M. A. Pérez, F. Blanco, G. García, C. E. Pérez, E. Rader, O. Villarreal, C. L. Pérez, M. Nieto, E. Tomas (SVE), J. I. Del Cura (SCA), K. Hyams, A. Seddon, P. Crosby, D. Barrett, A. Fraser, M. Laverty y L. Laverty (OUCC).12/2003, 3/2004, 12/2004, 2/2005. Grado: BCRA 4D.

La topografía de los 10.820 m de desarrollo del Sistema Roraima Sur (SRS) se culminó luego de cuatro exploraciones realizadas entre los años 2003 y 2005. Si bien, la boca superior del sistema es conocida desde hace casi una década por indígenas y excursionistas, un grupo de exploradores eslovacos y checos realizaron en 2003 una revisión parcial de uno de los sectores más accesibles de la cueva. Es el trabajo sistemático de la Sociedad Venezolana de Espeleología, que luego contó con el apoyo de la Sociedad de Ciencias Aranzadi (España) y el Club Espeleológico de la Universidad de Oxford –Oxford University Cave Club- (Inglaterra), lo que permite obtener esta cifra récord en desarrollo para cuevas formadas en rocas cuarcíticas.

Debido a la trascendencia que tiene el SRS en la espeleología en cuarcitas, y en especial de la Formación Roraima, hemos preparado sendos artículos que acompañan a la presente descripción de la cueva para explicar con detalle los aspectos relacionados con su geomorfología (pág. 2) y su origen y evolución (pág. 17).

La complejidad de la red de galerías, junto a la diversidad de microcuencas presentes han determinado el término de *Sistema* para referirnos al conjunto de pasajes interconectados que se describen a continuación. Una característica particular del SRS es la presencia de galerías anchas y de techo muy bajo, algunas inundadas temporalmente, que permiten conectar algunos sectores de la cueva. Estas estrechas galerías revisten particular interés en el denominado Subsistema 1, dado que es a través de ellas que se comunican las principales galerías, además de la incómoda conexión con el Subsistema 2. La definición de dos subsistemas constituye una abstracción de la laberíntica red de galerías, a favor de una descripción más sencilla de las mismas, sin olvidar que los dos sectores ecológica e hidrológicamente constituyen un ámbito contínuo. Sin embargo, podría generalizarse que en el Subsistema 1, conformado por la porción oriental de la cueva, predominan los drenajes en dirección NNW además de galerías descendentes con buzamiento de unos 5º a 10º. Por su parte, el Subsistema 2, ubicado al occidente, presenta un drenaje de las aguas primordialmente hacia el W y, en general, las galerías presentan un buzamiento mas suave (< 5º).

Subsistema 1

Este subsistema es sin duda el más laberíntico de la cueva. En términos generales, puede establecerse que está constituido por cuatro grandes galerías que discurren con rumbos aproximados S-N, y que hemos denominado Galería Este, Galería Central, Galería Paralela y Galería Oeste. Los accesos a este subsistema tienden a ser bocas sumideros, tanto activas como fósiles, y están denotadas en el plano como B1-B7. Sólo la B8 constituye una sima (-18 m) que permite acceder al colector del subsistema en su porción terminal, donde desaparece entre laminadores impracticables.



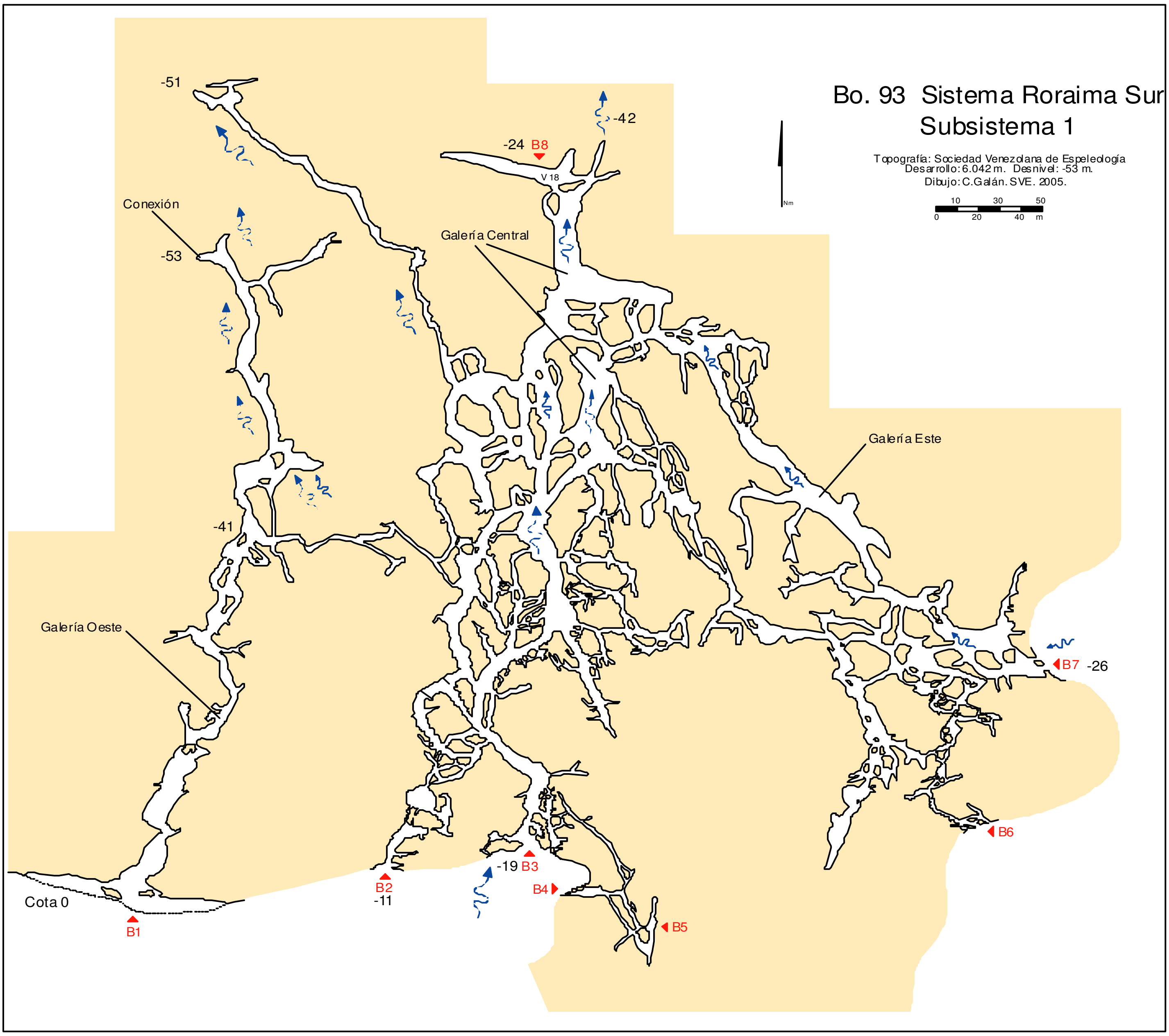






Fotos: Rafael Carreño - SVE

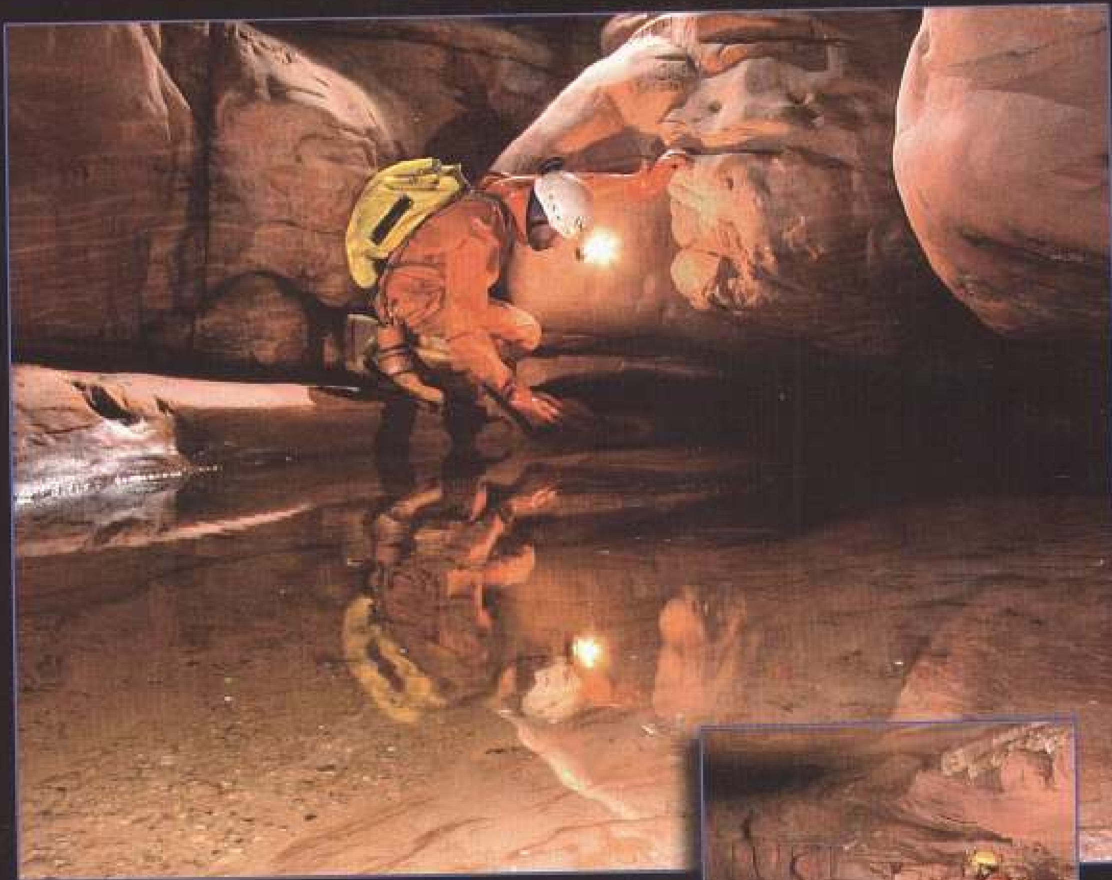
Bo.93 - Sistema Roraima Sur

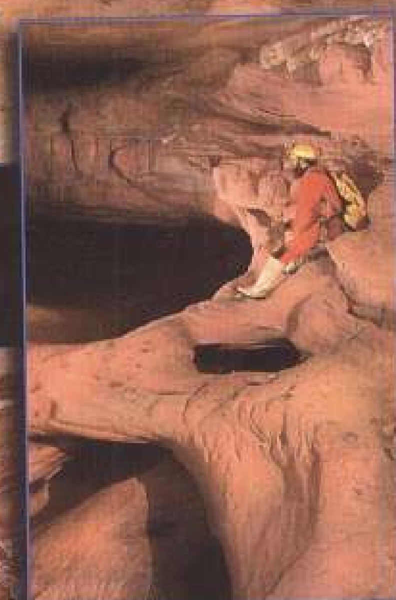


La entrada a la Galería Oeste (B1) corresponde al punto más alto de la cueva y de allí su designación como cota cero. Esta entrada está flanqueada por un amplio pórtico utilizado por los excursionistas desde hace más de una década como refugio de campamento, el cual fue hallado por el experimentado explorador de la etnia pemón Basilio Ayuso en 1994.

La porción inicial de la Galería Oeste es, hoy en día, una galería prácticamente fósil, aunque durante intensos eventos pluviosos diversas infiltraciones pueden observarse a lo largo de este primer sector. En su porción media la galería presenta un amplio salón con una atractiva cascada que se desprende prácticamente desde el techo. A partir de allí, la galería es activa, si bien, con volúmenes discretos de agua, éstos hacen difícil la progresión dado lo bajo del techo y el escaso desnivel que favorece la formación de pozas, cuyas temperaturas están próximas a los 10-12º C. Esta galería sólo presenta un lateral con dirección E, a lo largo de su trazado básicamente lineal, que constituye la conexión con el resto del subsistema 1. Esta estrecha conexión permite interceptar la Galería Paralela en su sector medio, y su primer recorrido implicó la remoción de grandes cantidades de arena para hacerla practicable.

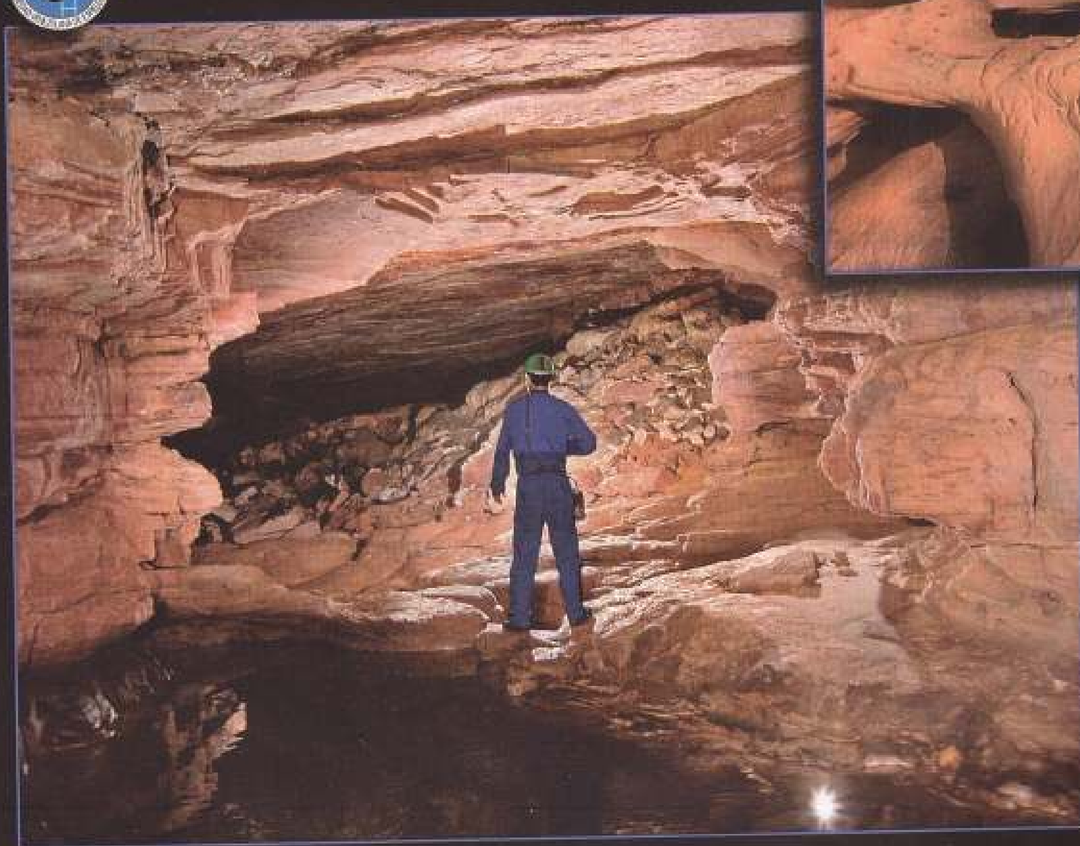
Las bocas 1, 2, 3 y 4 se ubican en la misma microcuenca (denotada como Depresión 1) sólo que a distintas alturas. Las bocas 1 y 2 están por encima del actual nivel de la cuenca, mientras que B3 y B4 son sumideros activos, ocultos entre caos de bloques y vegetación. B2 está asociada a un salón con fuerte declive que, a través de un paso estrecho, permite proseguir por una galería fósil que ha sido denominada Paralela pues se desarrolla a un lado y con la misma dirección que la Galería Central del Subsistema 1, y





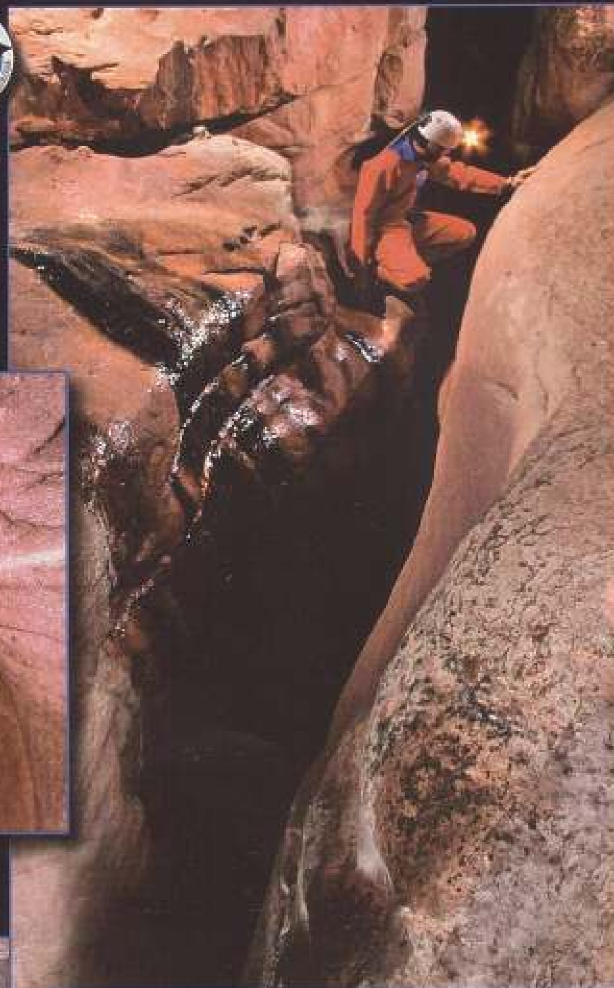
Fotos: Rafael Carreño - SVE

Bo.93 - Sistema Roraima Sur



Fotos: Rafael Carreño - SVE

Bo.93 - Sistema Roraima Sur







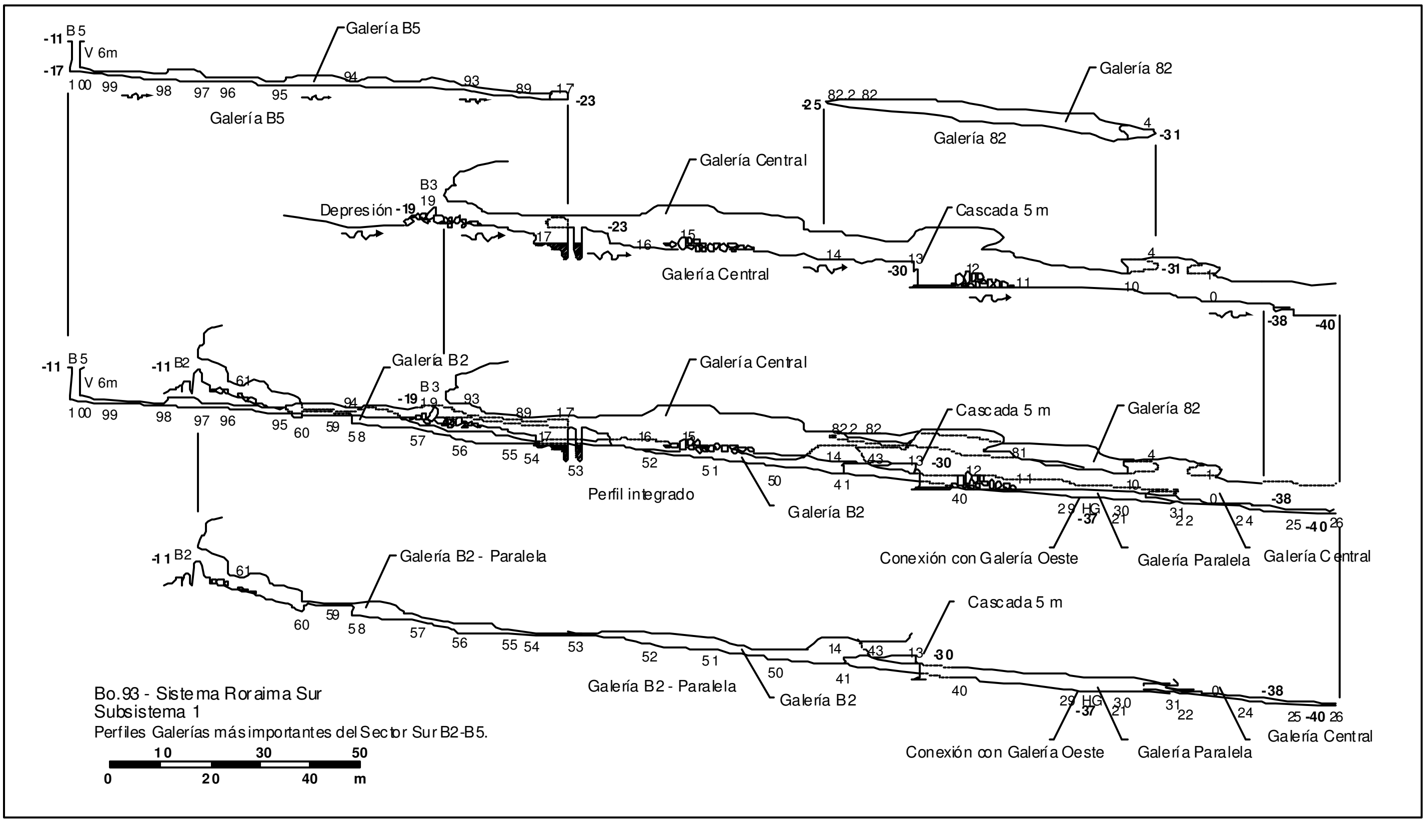
están conectadas en múltiples puntos a lo largo de unos 250 m. Estas conexiones entre ambas galerías son e general descendentes hacia la Galería Central, por lo que se pudiese inferir que, las aguas que en el pasado recorrían a la Paralela, fueron derivando hacia la Central dado el rebajamiento en la superficie de captura externa que paulatinamente favoreció el desarrollo de este último drenaje. El recorrido de la Galería Paralela no es sencillo, en numerosas intersecciones resultan más amplias las conexiones con la Galería Central que el recorrido sobre la galería misma. Sin embargo, en el sector inferior la Galería Paralela, producto de un conjunto de infiltraciones, presenta cierto caudal de agua, aunque escaso, activo incluso en períodos de sequía, el cual prosigue a lo largo de un incómodo y lineal conducto hasta interceptar una grieta que permite apreciar un entrante de luz. Este lugar está identificado en el plano con la cota -51.

La Galería Central presenta los volúmenes más amplios del sector oriental de la cueva, y es la de más fácil recorrido. Sin embargo, su régimen es activo todo el año y el riesgo durante repentinas crecidas debe ser considerado por los exploradores. La boca 3, enmascarada tras un caos de bloque, constituye el principal acceso a la Galería Central. También puede accederse a esta galería por las bocas 4, y con algo más de dificultad por la boca 5, ya que constituye una sima con un desnivel de 6 m.

Siguiendo por la boca 3 y tras un descenso entre bloques, se alcanza un conducto que recuerda a la morfología de las cuevas en calizas, donde el agua ha labrado un cauce enclavado en el suelo de la galería unos metros por debajo del conducto transitable. A los pocos metros se llega a un salón donde convergen varios pasajes, incluyendo los accesos a las bocas 4 y 5. Aquí, por el contrario, predominan las formas típicas de las cuevas en cuarcitas, con techos planos y una preponderancia de las líneas rectas, donde el agua fluye principalmente en forma laminar. Este salón suele presentar una cascada muy atractiva con un desnivel de 2 m, que se destrepa fácilmente y en su base se forma una poza de escasa profundidad.

Cabe decir que, a partir de este punto y hasta la encrucijada de galerías denominada «la T» el recorrido del conducto es sencillo y muy atractivo. Volviendo al salto de agua, la galería de unos 10 m de ancho en promedio prosigue en su trazado descendente hasta un segundo salto de 5 m donde cae una atractiva cascada. La galería prosigue, básicamente sobre el mismo cauce del río, que en ocasiones muestra unas pequeñas marmitas rematadas en su fondo con fragmentos rotos de cristales de cuarzo muy erosionado que han sido arrastrados por el agua desde la superficie. En otros casos el cauce presenta enormes bloques desprendidos del techo que requieren ser superados de diversas maneras. La galería presenta en este punto un salón muy amplio desde donde pueden accederse a la Galería Paralela, el lateral 82, e incluso un extenso lateral denominado la Segunda Paralela que permite comunicar en su sector intermedio a la Galería Central con la del Este.

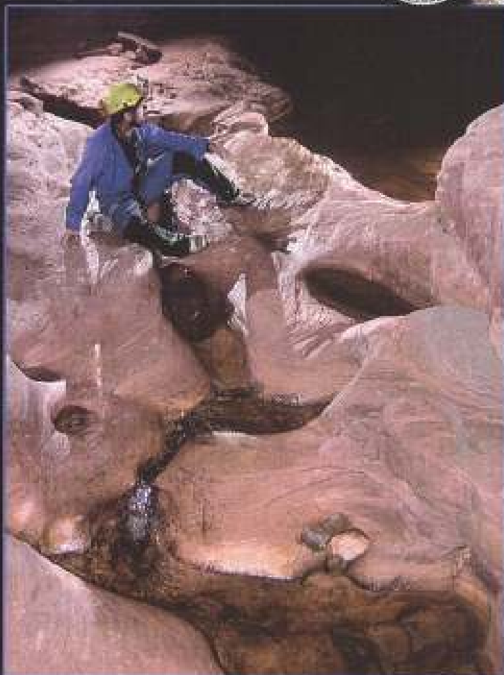
Este conjunto de laterales en la margen derecha de la Galería Central se encuentran colgados a unos 4 a 6 m por encima del cauce del río, y en diversos puntos el piso de este tramo se conecta a nivel del techo con la Galería Central. Estos pasajes son claramente fósiles y han debido tener su origen antes de que la Galería Central se formara, hoy en día, son pasajes muy estrechos, prácti-



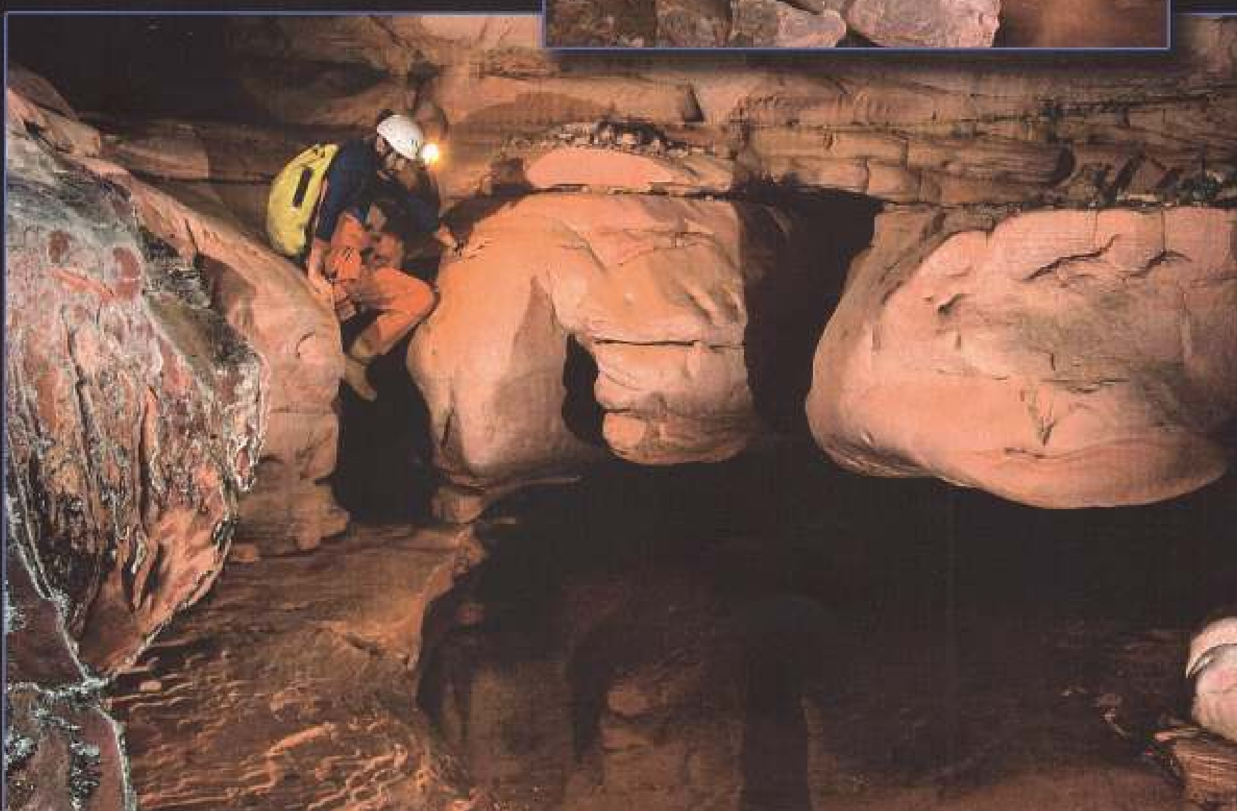
Bo.93 - Sistema Roraima Sur
Subsistema 1
Perfiles Galerías más importantes del Sector Sur B2-B5.

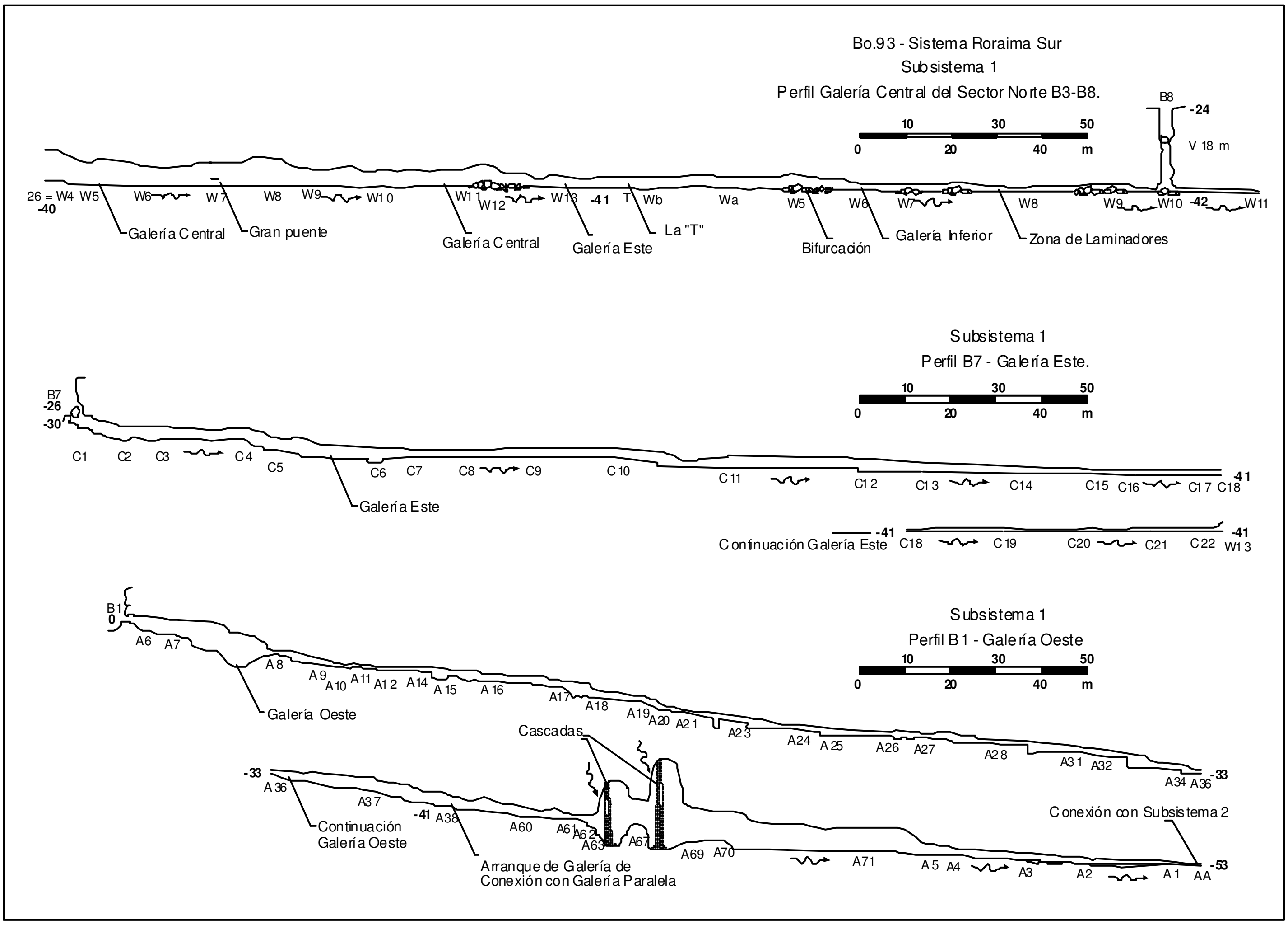
Bo.93 - Sistema Roraima Sur

Fotos: Rafael Carreño - SVE









camente colmados por arena en algunos sectores, y en pocos puntos existe un discreto goteo puede formar pequeñas pozas sobre material rojizo y de grano muy fino que se diferencia ampliamente de las predominantes arenas blancas.

Continuando aguas abajo del amplio salón, la morfología de la cueva cambia, principalmente se aprecia la disminución en el buzamiento de la misma, alcanzando pendientes casi planas con valores entre 0º y 5º, además que disminuye el ancho del conducto. El río ahora está más encauzado y forma pozas de hasta de un metro de profundidad, mientras que su recorrido es disectado por un conjunto de hermosos puentes de roca que permiten vadear de una a otra orilla. En su margen izquierda se encuentran numerosos entrantes, tanto a nivel de techo, como de piso, que comunican con la galería Paralela, en algunos sectores estos entrantes son amplios y han debido transportar un flujo importante de agua en el pasado. En sequía, este sector presenta de manera alternada playas de arena que lo hacen muy atractivo. Pocos metros más adelante el conducto adquiere dimensiones más discretas y a partir de allí las aguas que venían fluyendo en dirección norte viran hacia el oeste.

Este punto ha sido denominado la T y representa la entrada al sistema colector de las aguas del subsistema 1, y constituye el final del recorrido más transitable de la Galería Central. Un lateral a la margen derecha de la T permite acceder al sector inferior de la Galería Este, antes de que sus aguas se dispersen en un complejo sistema de laminadores muy bajos. A la derecha, luego de un conducto estrecho de una decena de metros, se accede a un salón, con numerosos bloques en el piso y con un goteo casi permanente desde el centro del techo, que permite retomar las aguas al alcanzar un amplio laminador, de escasa altura (~ 1m) pero muy ancho y limpio, que luego de superar algunas estrecheces y escalones culmina en la base de una amplia sima-grieta en la cota -42, denominada B8.

B8 mide unos 70 m a lo largo de su eje E-W. En el extremo este, la sima tiene una entrada de aguas de origen superficial que domina acústicamente sobre el resto de los afluentes. Estas aguas, junto con las provenientes del subsistema, se pierden en dirección N por una gatera sumamente estrecha. Hacia el W, la sima presenta una acumulación de bloques en su sector medio que separan el fondo en dos partes, aquélla ubicada en el extremo W

es aún más profunda que la zona de acceso E de la sima, sin embargo no presenta ninguna continuación practicable.

La Galería Este constituye primordialmente un amplio laminador formado por las aguas que alimentan a la boca 7. La boca 7 está ubicada entre bloques y es difícil de localizar desde el exterior, ya que se encuentra ubicada en una cuenca distinta a la descrita para el complejo de bocas B1-B5. Esta boca da acceso a un amplio volumen de techo más bien bajo que debe ser superado aguas abajo evitando algunos pasajes ciegos que se abren lateralmente. A escasos 30 m de la boca, las aguas siguen por un estrecho conducto, sin embargo pueden ser alcanzadas nuevamente tras rodear por medio de una serie de pequeños salones y caos de bloques que se encuentran del lado oeste.

Uno de estos salones es fácilmente distinguible, pues presenta una depresión central circular; este salón es una referencia para ubicar las galerías que, por un lado conectan con la Galería Central (Segunda Paralela) y la boca 6, y por su lado inferior a la continuación de la Galería Este a través de un estrecho conducto. Una vez sobre el laminador, que es hidrológicamente activo todo el año, la galería desciende prácticamente sobre un único estrato apenas interrumpido por discretos escalones. Pequeños laterales se encuentran a ambos lados de esta galería. En su sector inferior, y como ya se mencionó, las aguas prosiguen por unos laminadores ahora impracticables, y la progresión sólo puede ser continuada hacia la confluencia denominada la T.

Volviendo hacia el salón con la depresión central, se accede a un amplio pasaje que en dirección N permiten conectar con la Segunda Diagonal, además de un pequeño conducto inundado que debe drenar a uno de los laterales ciegos de la Galería Este. Aguas arriba se ubica un pequeño cauce con discretas pozas que luego de un centenar de metros se hace impracticable, sin embargo, una reducida ventana de medio metro de diámetro permite conectar con una galería ascendente, que se hace sumamente estrecha, con una altura máxima de 30 cm y circulación notable de brisa que culmina en la boca 6. Esta boca es muy discreta en dimensiones, unos 5 m de largo por dos de alto, y se encuentra próxima a la boca 7 en la depresión 2.



Aspecto de la Galería Central en el sector de los puentes de roca (Foto: R. Carreño).

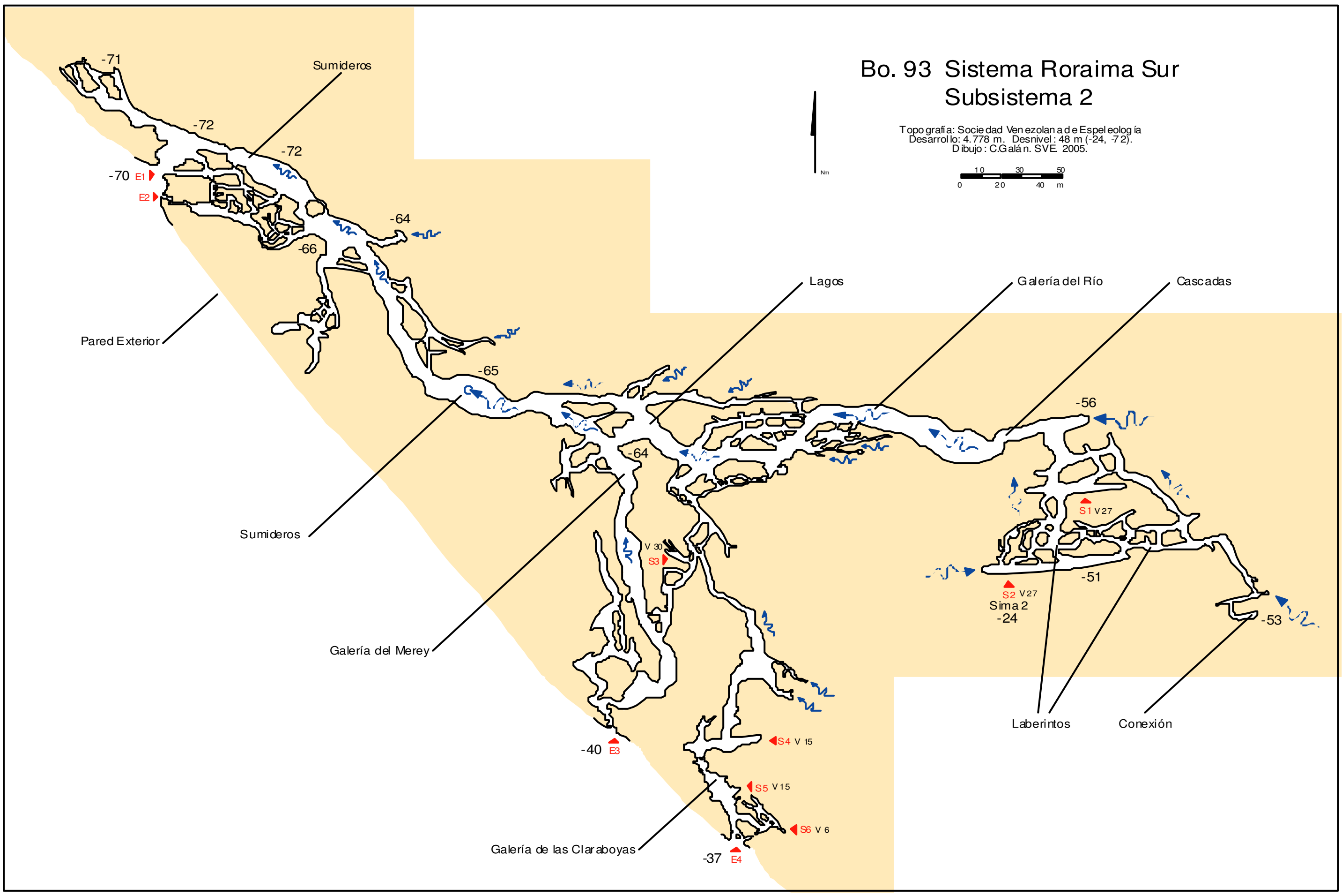


Exploración de galerías fósiles del subsistema 1 con importantes acumulaciones de arena sobre el piso (Foto: M. A. Pérez).

Subsistema 2

El Subsistema Roraima Sur 2 constituye la parte del Sistema con mayor dificultad de acceso pues se llega a él por medio del descenso de simas o por un arrastradero parcialmente inundado. Se puede considerar esta parte del Sistema como una galería principal de orientación E-W en unos 2/3 de su desarrollo y SE-NW en el tercio restante, con ramales en sentido N-S que desembocan en aberturas sobre la pared del tepuy.

En la exploración del Subsistema 2, se equipó la Sima 2 mediante una cuerda para descender al nivel donde se desarrollan las galerías de predominio horizontal. La mayor diferencia de cotas en este subsistema, una vez descendidas las verticales, es de 35 metros. Se desciende la Sima 2 hasta el fondo de la grieta, la cual tiene, en momentos de lluvia, una pequeña cascada en su extremo W. En este mismo extremo, del lado derecho se desarro-



llan varios arrastraderos en zonas parcialmente inundadas. En el otro extremo de esta grieta se desarrolla una galería que termina en un arrastradero que une los dos subsistemas.

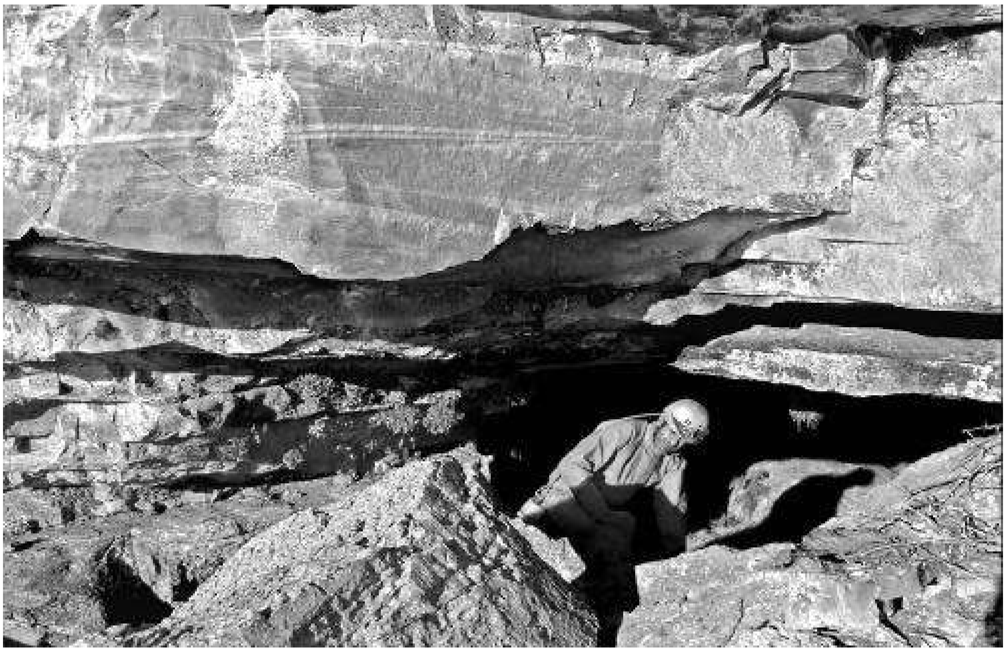
En la parte central de la grieta, del lado N, se abren unas bocas hacia una zona inundada de techo bajo que conducen a otra grieta, paralela a la primera, de una altura hasta la superficie de unos 27 metros, denominada Sima 1. El extremo W de esta grieta da paso a un arrastradero, seco, de unos 20 metros terminando en un destrepe de unos 2 m que permite acceder a una sala amplia que conecta por su extremo N con una galería recorrida por un cauce de agua surgente del extremo E. Esta galería se puede considerar la principal del Subsistema 2. Siguiendo por ella en sentido E-W, se recorren unos 150 m fácilmente transitables por ser de dimensiones amplias y suave pendiente. A lo largo de este tramo, el río va descendiendo a través de cascadas en sucesión.

Siguiendo la Galería del Río se encuentran dos conductos ascendentes sobre su margen izquierda justo después de superar la sucesión de cascadas. La primera de ellas asciende por una galería estrecha y zigzagueante, que debe ser activa durante fuertes eventos de lluvias. A unos 40 m de la galería principal se encuentra a mano derecha una estrecha y alargada claraboya que permite el ingreso de una tenue luz (S 3). En este punto la galería se bifurca, si se mantiene rumbo S el conducto sigue ascendiendo hasta alcanzar un salón muy particular tanto por su bóveda en forma de domo, algo poco frecuente en la cueva, como la dominancia de estratos blancos en la pared formados por un material de grano fino. Este salón presenta dos pequeños afluentes en su sector más elevado. Unas decenas de metros más adelante se llega al fondo de una amplia sima (S 4), ubicada a unos 15 m por debajo de la superficie del tepuy y con abundante vegetación, principalmente helechos y musgos. El fondo de la sima está constituido por enormes bloques desprendidos de sus paredes. En su porción distal, la sima permite acceder a una pequeña trama de galerías de techo bajo hacia la derecha, mientras que a la izquierda a través de un salón, también de techo bajo y con abundantes bloques, es posible alcanzar una pequeña ventana sobre la pared del tepuy al igual que una sima próxima a la superficie del mismo, ambas entradas densamente cubiertas por la vegetación (E 4 y S 6).

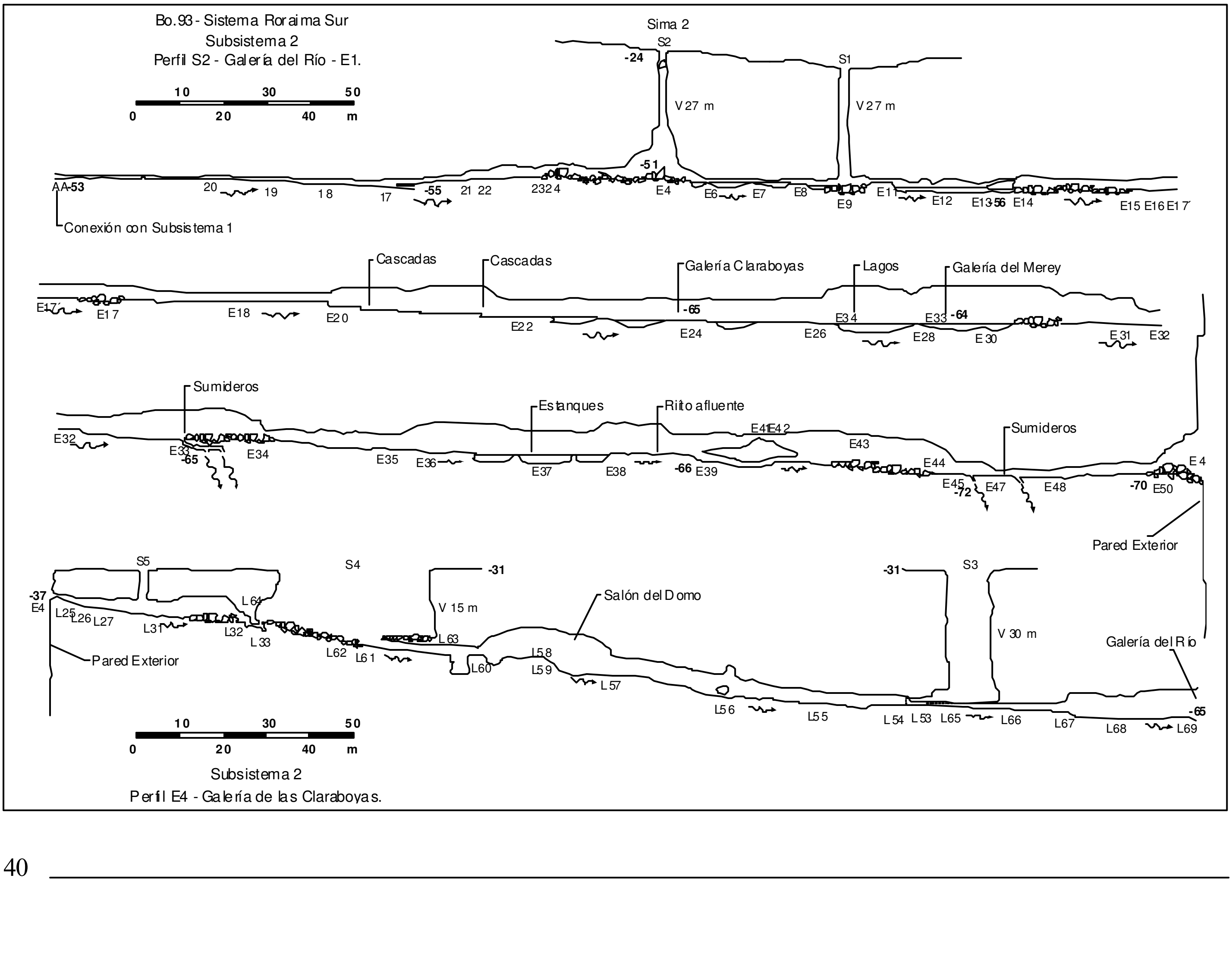
Volviendo a la Galería del Río, se alcanza un conjunto de pozas de mediana profundidad, identificadas como los Lagos. Estas pozas pueden ser evitadas a través de un pasaje con grandes dimensiones desde el que se accede al siguiente lateral, la Galería del Merey. Este conducto es muy amplio, y su formación ha debido estar asociada a un flujo importante de aguas, hoy ausente. El rumbo de la galería es primordialmente S y su ascenso requiere superar al-

gunos saltos, el mayor de ellos es de unos 6 m. Unos metros antes se encuentra la conexión con el lateral a nivel de la claraboya, arriba descrita. Superado el desnivel, la morfología de la galería se modifica, ahora es más estrecha y dominan los techos bajos. En este punto, y luego de una compleja progresión es posible acceder a una pequeña ventana (E 3). A partir de este punto la galería se desarrolla en sentido descendente, con grandes rellenos de arena y bloques que imposibilitan su recorrido en la mayoría de las direcciones.

Siguiendo por la Galería del Río, hay que atravesar una gran poza por su lado derecho, a ras del agua, con la ayuda de escasos agarres en la pared. La galería principal se divide en dos galerías activas que se unen al cabo de unos 50 m en una sala en la que se sume el río a través de griestas muy estrechas en la base de grandes

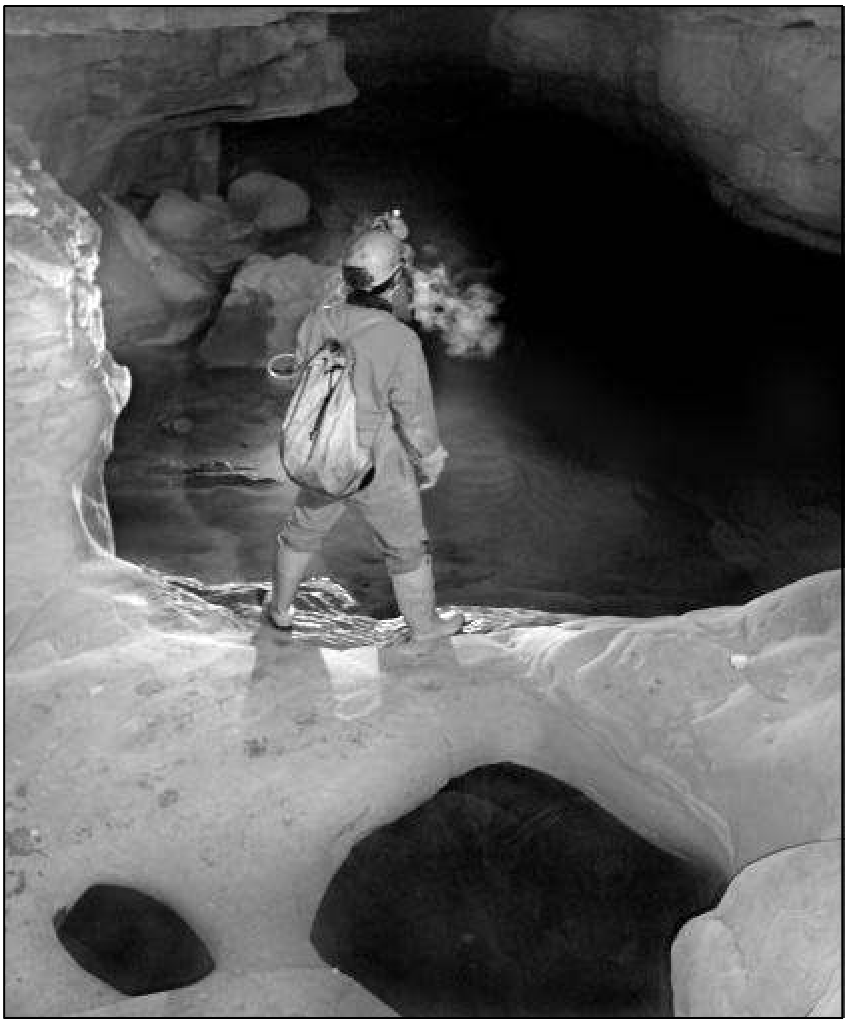


Detalle de la boca E 1 del subsistema 2 durante la exploración de enero de 2005. Esta boca abre sobre una repisa colgada en la pared a casi un centenar de metros del borde superior de la meseta, y está conformada por bloques caídos y vegetación arbustiva (Foto: F. Herrera).

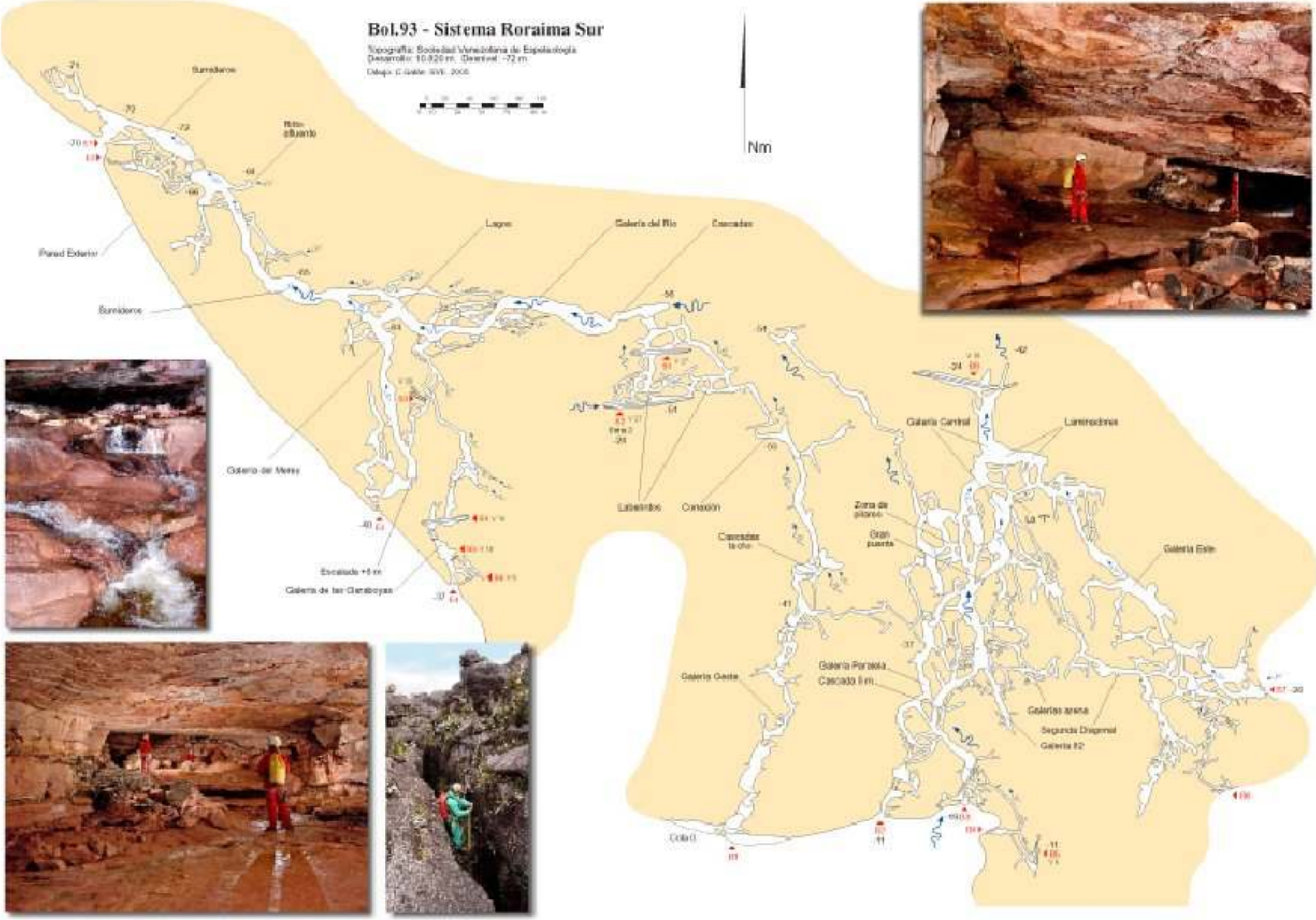


bloques desprendidos del techo. Poco después de los sumideros sobre la margen derecha, se encuentra una galería relativamente amplia, hasta 4 m de ancho, que discurre paralelamente a la galería pincipal. A partir de este sector, la galería reduce sus dimensiones pero sigue siendo fácilmente transitable. Recorriendo unos 150 m, se alcanza una zona de bloques, donde éstos entran en contacto con el techo de la galería. Sobre la pared de la izquiera existen algunas galerías colgadas que dan acceso a un pequeño laberinto de techo bajo que continúa por unos metros en dirección SSW. Volviendo a la zona de bloques, existe un paso que permite alcanzar otra galería que mantiene la dirección que se venía transitando (NW), es de unos 50 m de largo, y con unos 15 m de ancho y unos 15 m de altura. Esta galería tiene múltiples pasajes en su flanco izquierdo que conectan con una red laberíntica. Este punto representa la cota más baja del Sistema con -72 m. En este sector de la cueva se pueden apreciar pequeños afluentes provenientes de la pared derecha. Al recorrer esta galería se llega a una cascada en cuya base existe un pequeño paso que conduce a una sala de altura media de 2 m en la que se abre una ventana al exterior (E 1). El balcón, de grandes bloques, posee vegetación abundante y la pared superior, extraplomada, de unos 30 m de altura, le sirve de techo.

Asociada a esta boca existe una menor a unos pocos metros hacia el sur (E 2) a la que se llega por una intrincada red de pasajes estrechos, algunos entre bloques, que en algunos puntos permiten conectar con el sector terminal de la Galería del Río, como se mencionó anteriormente.



Para recorrer el Sistema Roraima Sur es necesario mojarse debido al frecuente paso de tramos inundados (Foto: R. Carreño).


Bol.93 - Sistema Roraima Sur
Nm
Pared Exterior
Sumideros
Galería del Río
Cascadas
Galería Central
Laminaciones
Laberintos
Corazón
Zona de pilares
Gran puente
La "T"
Galería Este
Escalada +8 m
Galería Paralela
Cascada 8 m
Galería Oeste
Galerías arena
Segunda Diagonal

OUCC-SVE, RORAIMA 2004-5

Keith Hyams
Oxford University Cave Club, 13 Bevington Road, Oxford,UK
keith.hyams@linacre.oxon.org

Recibido en mayo de 2005

One thing we did manage to solve was the mystery concerning the drainage of the plateau. Even though on the previous day we had seen lots of streams on the summit, none seemed to go towards the edge of the tableland. It was during the afternoon of the last full day that we came to the edge of a deep fissure with a stream tumbling into it at one end. We found quite a lot of these clefts later, and some of them looked quite deep.

«Maybe some day a potholing expedition will explore these places,» I said.

«It would be very dangerous,» added John. «You would have to divert the streams or else the sudden rainstorms would flood you out.»

«Perhaps that's where the diamonds are, down there in the heart of the mountain,» mused Adrian.

«Well, it's a thought for some future expedition, not us,» pronounced John.

Such an undertaking would be dangerous even for a fully experienced party, but perhaps one day an expedition will go to Roraima with the intention of investigating the shafts on the summit. As Adrian pointed out, the diamonds the Indians talked about might be at the heart of the mountain, and it might just be possible that the potholes went a long way down into the rock.

«Journey to the Lost World» by Stanley Jeeves, 1965

It was over two years since I'd first visited Roraima and hatched a plan to go back with a group of cavers to explore the many caves I'd seen on its wild summit. One of those ideas which probably should have vanished soon after getting back to England, but which had somehow managed to linger on in my mind until, finally, here we were, a team of seven bleary eyed cavers meeting at some ungodly hour in the bus station at Heathrow airport – Pip, Tony, Martin, Lenik, Dave, Arry and myself.

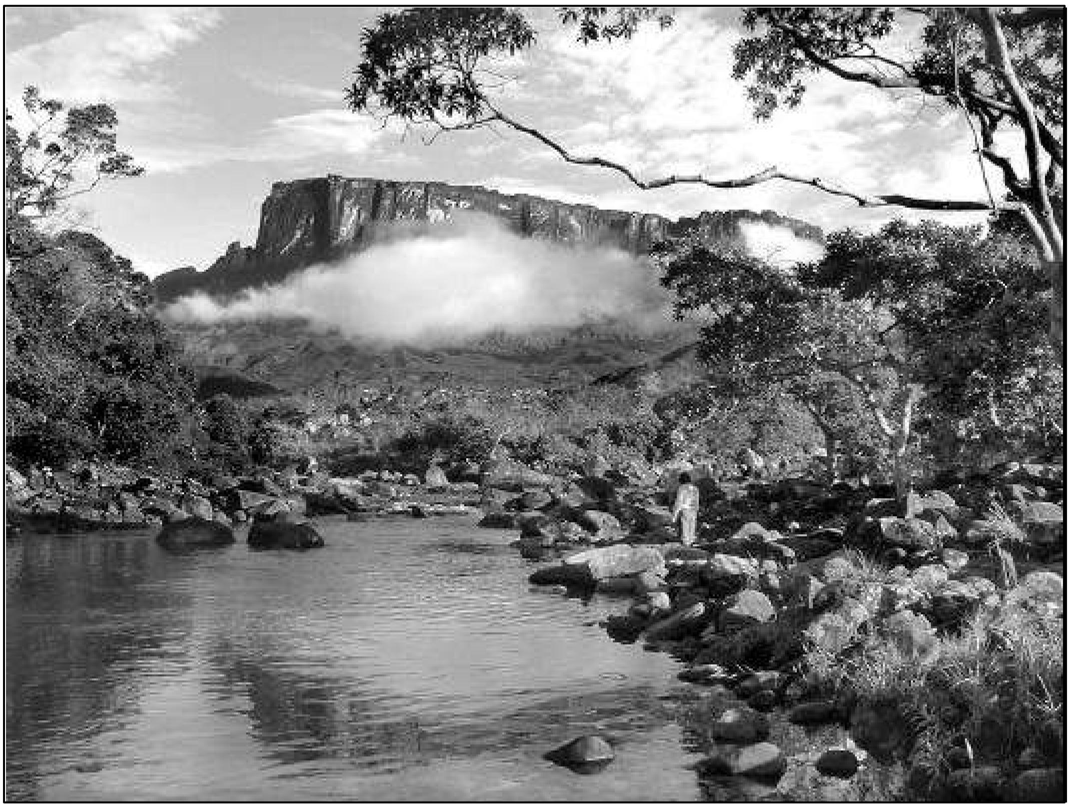
A few hours later and we were in Caracas, met by a group of incredibly friendly Venezuelan cavers with whom we'd planned this joint expedition. We were all knackered after not having slept for two days, so the mad dash to buy food before the last of the supermarkets closed proved a little more than our weary brains could cope with, and we ended up with a random assortment of foodstuffs which we eventually managed to supplement with a slightly less random assortment of foodstuffs over the next couple of days.

The next morning the seven of us, plus the two cavers of the Venezuelan Speleological Society who would be joining us on Roraima, Francisco and Rafael, were up before dawn (again) to join our bus down to the Gran Sabana region of Venezuela. There had been no tickets left on the regular buses when the Venezuelans had tried to book our places, so they'd found us places on a tourist bus instead, which leisurely wound its way down towards Roraima, seemingly stopping at every village, church, bridge, waterfall, rock and tree for a photo session along the way. The comfort-phillic Venezuelan tourists on the bus had already decided that we were mad, just at the mere mention of our plan to go caving. But when, in the middle of the night, we were unceremoniously dumped by the side of the road in the middle of nowhere, in the midst of a tropical downpour, they decided that we really must be completely off our rockers. 'Suerte', they said, as we left the bus, their baffled faces belying a secret relief that these nutcases had finally left them alone to marvel at the beauty of the Gran Sabana from the safe confines of an air-conditioned tour bus.

It was a tough but enjoyable three day hike to the top of Roraima, each of us carrying about 20 kg of gear and food on our backs. We spent New Year's Eve cowering from the rain in a small shelter, passing round a bottle of rum and singing Auld Lang Syne at 8 pm to celebrate the British New Year as none of us had the energy to stay awake to see in the Venezuelan New Year. Two river crossings, a lot of hard sun, heavy rain, sweat, laughter and fantastic views later, we arrived at the original base camp, at the foot of the soaring Roraima wall, ready for our final ascent up the ramp the next day.

When we finally reached the top after the long slog up the ramp, we were all struck by the magnificent weirdness of the place, even myself and Arry, who'd been up Roraima before. Weird rock formations, unique plants, huge bogs, valleys of crystals – truly the Lost World of Conan-Doyle (minus the dinosaurs). Once we'd established camp in the entrance to a cave it was time to go caving.

I was pleased to see that the entrance to the cave of interest, the only known cave on Roraima of any size, was the very same entrance which had looked particularly promising to me on my visit two years ago. Roraima Sur cave was already known to be 6 km long, and we hoped to extend that. Being formed in sandstone the cave had a very different appearance and feel (much more crumbly!) to normal limestone caves. The walls glowed a warm,



View of Kukenan tepuy, from Kukenan river (Photo: OUCC).

welcoming pink, and there were amazing wave impressions on the rock, formed when the rock was originally laid down on the sea-bed, like sand at the beach as the tide recedes. A lovely cave.

We spent our first day exploring and surveying some small side passages and left a good lead in the north of the cave for a future trip. Rafael managed to amuse me greatly by insisting on going through a squeeze which was pretty tight for him because, he said, 'I can't leave Francisco, he's my buddy!' To his credit, he didn't give up, and after about half an hour of grunting, groaning, pushing and pulling from both ends, and a bit of demolition of the crumbly sandstone walls, Rafael eventually popped out the other side, swearing profusely in Spanish.

On the second day we split into two teams with Pip, Tony and Dave going off to explore another entrance a short walk from camp and not too far from the edge of the tepui, a 20 m deep open crack in the ground which Francisco and Rafael had previously entered but not fully explored. They described it as 'low and full of deep water'. The other team, Francisco, Rafael and myself, went back down Roraima Sur to look at the far northern limit of the cave which we hadn't had a chance to look at yesterday. We grovelled around in low wet passages which went nowhere for a couple of hours until Francisco had a mini-epic getting lost in a bedding plane and we decided to call it a day and head back to camp rather than continue on to push yesterday's lead, which would have to wait.

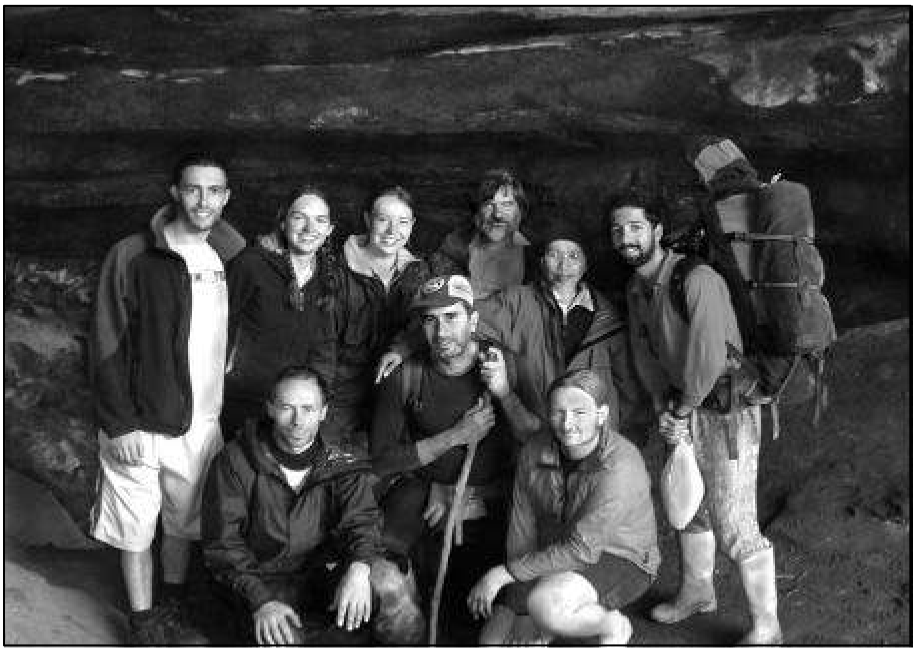
Back at camp the other group had already returned and were huddled around the pasta slop which we had become accustomed to referring to as dinner. 'How was your trip?' they asked.

'Oh, O.K.', we replied. 'Yours?'

'Yeah, O.K.', said Pip. But the poorly concealed smirks on their faces said it all… the other cave had gone big! Team lucky had spent the day romping down a huge streamway passage in a big new cave at least as large as Roraima Sur. They'd already surveyed over 500m of passage and explored another 250m beyond that, and the cave was still going! Wahey!

The next day we all piled into the new cave to continue the exploration and survey. The main streamway which lay beyond was impressive, to say the least. Picking up from where they'd finished surveying the day before, Tony, Pip and I continued pushing the main passage whilst Francisco, Rafael and Dave explored the side passages. After a few hundred metres more we met a huge boulder choke which, after a certain amount of precarious persuasion, we managed to negotiate a way through. The passage continued beyond the choke until eventually the roof lowered suddenly and we were forced to duck under a low section to continue. And then… light, coming from a large cavity on the left! Could it be? Yes! It was! We'd popped out, like the characters in *The Lost World*, in the middle of Roraima's mighty walls! On the down side this meant that we'd reached the end of the cave (the remainder of the cave must have dropped off millions of years ago when the rock between the remaining tepuis fell away), but none of us minded much, as the hole we'd found was truly one of the most spectacular places any of us had ever been. The cloud was in as we stood in awe, perched above hundreds of metres of nothingness, the great cliffs towering above us and dropping away below. An immensely atmospheric window into the abyss. Fantastic!

We started out of the cave and explored one of the larger inlets on the way out. After surveying the passage we were about to head out when I felt a breeze coming out of the wall on my left. Looking underneath the wall we found a choke and forced our way through to find a second, smaller window in the cliffs. The cloud had now rolled back and the sun had just set, so we were afforded a fantastic view across the savannah. We headed out, glowing with satisfaction at our finds in the cave which Francisco



Cavers of the British-Venezuelan team, January 2005. Above, from left to right: Keith Hyams, Pippa Crosby, Arabella Fraser, Martin Laverty, Lenik Laverty and Francisco Herrera. Below: David Barrett, Rafael Carreño and Anthony Seddon (Photo: OUCC).

now named La Cueva de la Pared (The Cave of the Wall). Almost certainly the best trip of my caving career so far!

With only a couple of days of the expedition left to go, we explored another surface lead which looked quite promising – a waterfall plunging into a long slot in the ground, where Pip managed to get herself thoroughly wedged for quite a while. We also returned to the lead we'd found in Roraima Sur on the first day, where we found a maze of passages heading off, and added a new entrance and a couple of hundred metres more onto the length of Roraima Sur.

Returning to camp after the last day's caving, relieved that our poor broken bodies could finally have a break, we realised that we still hadn't been down the cave – Guacharo Cave – in the entrance to which we'd been camped for the past week. Since we were still in our caving gear we decided to go for a quick jolly to see the cave, but I promised myself that I'd turn back as soon as I had to get down on my knees, which were completely buggered by now. Twenty metres in and the roof lowered… 'Oh sod it!' I thought, 'I can't turn back this early, we can still see the camp!'. An hour later and we reached what was supposed to be the end of the cave, where, to our surprise, we could carry on caving. A flat out crawl and a squeeze over a rock bridge led into a short stretch of virgin passage until, a few metres further on, we saw signs that we back in known passage again. But where could this be? It didn't seem to fit the survey of Guacharo Cave, so maybe we'd found another connection through to Roraima Sur (one connection had already been established between Guacharo Cave and Roraima Sur by the Venezuelans)? We followed the passage a bit further to try and work out where on earth we were, until eventually we reached a large crack open to the surface. There were lots of cracks in the area and several of them led to Roraima Sur, so we still weren't quite sure where we were. Then suddenly, ahead of me I heard a loud laugh from Tony, 'This tree was our first survey station!'… we'd found a connection through to the bottom of the entrance pitch into the new cave, La Cueva de la Pared! What had supposed to be a brief bimble had ended up making one of the most significant discoveries of the trip, a connection which linked the new cave to Guacharo Cave and Roraima Sur, thereby linking all three of Roraima's caves together and creating one large system, Sistema Roraima Sur, with a total length of over 10.8 km, the longest sandstone cave in the world and the second longest cave in any rock in Venezuela.

The next day it was time to return to the world below. We'd had a fantastic time and had been very lucky with our finds. But we'd run out of food, energy and time. And none of us could face another morning dose of porridge slop (Arry had already given up eating breakfast a couple of days ago!), so it was time to go home. We hobbled back down in two days with the assistance of several sticks and double strength ibuprofen, or 'pink smarties' as we called them, then got the bus back to Caracas to sleep, eat and be merry.

JEEVES, Stanley. 1965. *Journey to the lost world*. London University Press. 95 pp.



Rock bridge near by the «T», at the end of Galería Central in Subsystem 1 (Photo: R. Carreño).

NOTAS SOBRE LA EXPLORACIÓN DEL SISTEMA KÁRSTICO DE RORAIMA SUR, ESTADO BOLÍVAR

Rafael CARREÑO B. & Francisco BLANCO
Sociedad Venezolana de Espeleología
Departamento de Catastro Espeleológico
Apartado 47.334, Caracas 1.041-A
rafaelcarreno2004@yahoo.es

Recibido en julio de 2005

RESUMEN

Se ofrece un breve resumen del desarrollo de las 3 décadas de exploración en cavidades abiertas en los tepuys del Escudo Guayanés y el avance en el conocimiento de un karst inicialmente atípico para el resto del mundo. En este proceso la Sociedad Venezolana de Espeleología ha jugado un rol determinante en cuanto a constancia y cantidad de logros alcanzados, tanto como institución independiente o en cooperación con grupos y especialistas extranjeros. Se presenta el listado de las 8 mayores cavidades venezolanas abiertas en cuarcitas, que suma 22,7 km de desarrollo, con tendencia mayoritariamente vertical. Se detalla el reciente trabajo realizado en el Sistema Roraima Sur, la cual resalta por su particular morfología horizontal y se ofrecen sugerencias para preservar esta interesante localidad subterránea.

Palabras clave: Espeleología, cuarcita, cueva, topografía, tepuy, Roraima, Venezuela.

ABSTRACT

Notes on the exploration of the karstic system of Roraima South, Bolivar State, Venezuela.

This note offers a briefing of the 3 decades of cave exploration developed in the table mountains of the Guayana shield and the advances obtained in the knowledge of a karst initially considered atypical for the rest of the world. In this process the Venezuelan Speleological Society had played a determinant role by the constancy and the amount of goals reached, as an independent institution, and also in cooperation with specialists and foreigner groups. A list of the 8 biggest Venezuelan caves opened in quartzites is presented, which means 22.7 km of mainly vertical development. The recent work carried out in the Roraima Sur System is detailed, which is distinguished by a horizontal morphology and some suggestions are done to preserve this interesting underground location.

Key words: Speleology, quartzite, cave, topography, tepuy, Roraima, Venezuela.

INTRODUCCIÓN

En 1842 el geógrafo prusiano Robert Schomburgk recorre las inmediaciones del Roraima al servicio del gobierno británico, aunque el primer ascenso se logró en 1884 cuando los ingleses Everhard Im Thurn y Harry Perkins alcanzaron la cumbre y permanecieron en ella durante pocas horas, acompañados por indígenas de la etnia Pemón. Tras la publicación de la novela *El mundo perdido* de Conan Doyle se ha vuelto un lugar común evocar reiteradamente el carácter fantástico de esta región, tendencia en la que todavía hoy día se insiste. En cuanto al reporte de cuevas, la primera referencia sobre cavidades en afloramientos del Grupo Roraima fue realizada por geólogos venezolanos (AGUERREVERE *et al.* 1939).

A mediados del siglo pasado los espeleólogos de todo el mundo consideraban que la posibilidad de hallar cavidades en rocas cuarcíticas era improbable e incluso calificaban ese tipo de roca como impermeable. Sin embargo, varios autores venezolanos y extranjeros han abordado el estudio de estas localidades para revertir dicha apreciación. Durante ese proceso la Sociedad Venezolana de Espeleología (SVE) ha impulsado las diversas fases del trabajo a lo largo de casi tres décadas de actividad continua. El resultado es que se ha logrado revertir el escepticismo inicial, demostrando que el proceso de karstificación no sólo era factible, sino que Venezuela posee las mayores y más profundas cavernas del mundo en ese tipo de litología. Posteriormente en el resto del globo -especialmente en Brasil, Sur África y Zimbabwe- otros hallazgos confirmaron la existencia de escasos fenómenos similares a los observados en la Guayana venezolana.

CONOCIMIENTOS PREVIOS A LA EXPLORACIÓN

Al iniciarse la espeleología moderna en Venezuela los exploradores disponían de un bagaje teórico basado principalmente en las investigaciones realizadas por colegas europeos, donde se reseñaban a las rocas cuarcíticas como un material prácticamente insoluble. Hasta mediados del siglo pasado la mayoría de los espeleólogos sólo calificaban como karst a los terrenos susceptibles al cavernamiento constituidos por rocas carbonáticas, concretamente los afloramientos de caliza o dolomita, y en segundo lugar se incluyeron los afloramientos de yeso como constituyentes de karsts, prestando escasa atención a otro tipo de litologías. Para describir ciertos fenómenos algo similares y usualmente de menor envergadura, desarrollados en otros tipos de rocas, se utilizaron términos como peudokárstico, estableciendo ciertas particularidades evolutivas.

Durante las primeras exploraciones llevadas a cabo en la década de los setenta, los venezolanos encontraron en afloramientos de rocas cuarcíticas un verdadero proceso de cavernamiento con amplios y variados rasgos geomorfológicos que contradecían las

limitadas concepciones vigentes en ese momento. Se visualizó que, en líneas generales, los tepuys también permitían el desempeño de actividades científicas y técnicas totalmente subterráneas y en oscuridad, equiparables a las de la espeleología clásica (GALÁN 1991, 1995).

Los trabajos desarrollados por la Sociedad Venezolana de Espeleología, en cooperación con especialistas y con otros grupos visitantes del extranjero (URBANI 1990a), permitieron la redefinición de los términos kárstico, peudokárstico, parakárstico, bradikárstico, etc. en relación a litologías cuarcíticas. En la actualidad, los investigadores de la geoespeleología a nivel mundial han reconocido estos espacios vacíos como un auténtico karst, que es escenario de complejas relaciones ecológicas entre el ambiente de la superficie y el del subsuelo (URBANI 1986, GALÁN 1991). Durante ese cambio de perspectivas científicas la SVE ha constituido la contraparte venezolana de numerosas expediciones binacionales que han alcanzado las cumbres del escudo guayanés.

Hay que acotar que en aquellas primeras décadas la única vía que hoy atraviesa la Gran Sabana era intransitable para vehículos convencionales, por lo que la exploración inicial se dificultaba. Ello hizo que las actividades subterráneas por parte de grupos espeleológicos se limitará a la iniciativa de la SVE -principalmente en los años ochenta- y hoy día extensiones muy amplias todavía se mantienen inexploradas. Entre los importantes obstáculos se pueden citar las amplias áreas de selvas intrincadas, ríos de centenares de m^3/seg, lluvias muy intensas, paredes verticales de hasta 1 km de altura, campos de bloques gigantescos, laberintos de grietas, etc.



Prospección en la cumbre del tepuy (Foto: R. Carreño).

ANTECEDENTES EXPLORATORIOS EN KARSTS DE ROCAS CUARCÍTICAS

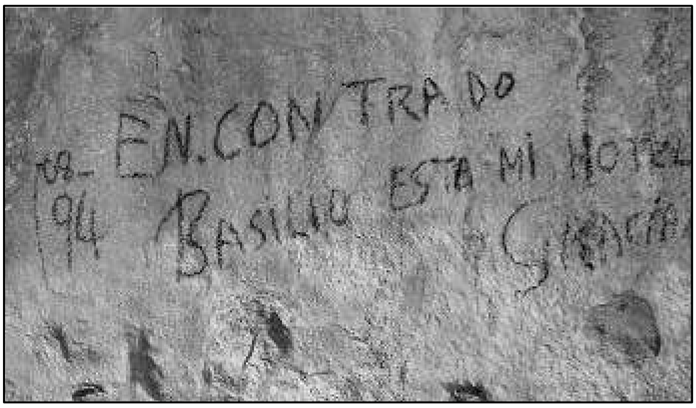
Unas de las primeras observaciones aéreas de las cavidades del estado Bolívar fue efectuada por los miembros correspondientes de la SVE Pablo Colvee y Eugenio Szczerban a principios de 1970, en labores de la Comisión CODESUR-MOP (URBANI 1997). Con la disponibilidad de helicópteros, Charles Brewer explora la cueva del cerro Autana en 1971, la que constituye la primera exploración subterránea en ese tipo de rocas y también explora Sarisariñama en 1974 realizando croquis de las áreas iluminadas de las simas, mientras que la SVE alcanzó los sectores más profundos de esa misma localidad (BREWER 1986, GALÁN 1995).

La Sociedad Venezolana de Espeleología ha reportado casi un centenar de localidades accesibles en terreno cuarcítico guayanés, 71 de ellas ya han sido publicadas en el Catastro Espeleológico de Venezuela -inventario que incluye la ficha topográfica, planta, perfil y descripción-, además de otro centenar de potenciales cavidades que se conocen, pero cuyo estudio está por desarrollarse. La SVE ha realizado unas 30 expediciones en tepuys, casi todas ellas helitransportadas en:

Sarisariñama, Urutani, Aguapira, Guaiquinima, Auyán-tepui-Norte, Auyán-tepui-Aonda, Boypan-tepui, Santa Elena, Kamá, Kukenán, Illú, Tramen, Yuruaní, Chimantá-Acopán, Chimantá-Amurí, Roraima y otras localidades menores del estado Bolívar, además del trabajo en el Cerro Autana (estado Amazonas) y en Wei-Assipu-tepui (Roraima del lado brasileño). El esfuerzo ha permitido acumular 36,1 km de galerías topografiadas en 18 diferentes áreas kársticas, caracterizadas por rocas cuarcíticas del período Precámbrico (Proterozoico).

Hay que acotar que las perspectivas exploratorias son considerablemente mayores debido a que en tres décadas de trabajo subterráneo apenas se ha trabajado sobre una pequeña área tepuyana. A pesar del atractivo explorativo, estas interesantes expediciones no se han podido desarrollar con la frecuencia deseada, ya que casi todas las cumbres requieren de una movilización apoyada en el uso de helicópteros, por lo que los recursos logísticos, el soporte financiero y la disponibilidad de tiempo han limitado el acceso a estas mesetas.

Lo mencionado en los párrafos anteriores se logró sin contar con la oportunidad de realizar cómodas pre-expediciones de sondeo antes de afrontar el trabajo principal, es decir sin tener la ventaja de conocer las características locales ni los riesgos a afrontar. La mayoría del trabajo de la Sociedad se realiza por medio de operaciones limitadas a un único ascenso a la cumbre, explorando las cavidades durante el proceso de equipamiento de las verticales y topografiándolas seguidamente, durante la fase de retiro del equipo.



Inscripción en la roca realizada por Basilio Ayuso (guía de Paraitepuy) al momento de descubrir la boca B 1 del Sistema Roraima Sur (Foto: R. Carreño).

Ello implicó considerables esfuerzos a lo largo de un trabajo bien coordinado entre los integrantes, donde la estrategia reside en sacar el mayor provecho a cada uno de los días transcurridos en el tepuy. Los momentos que se podrían considerar como descansos, en realidad son dedicados a la recolección de muestras y al registro fotográfico. Todo el personal se compromete y actúa en función de los objetivos científicos del colectivo, sin relegar a ningún miembro a labores de campamento.

El intercambio con colegas del extranjero ha sido frecuente y provechoso, al reexplorarse zonas parcialmente conocidas como Auyán-tepui (Martínez 1989, Pezzolato *et al.* 1994), o al encarar nuevos retos lejos de las áreas más accesibles como en Chimantá (Maeztu *et al.* 1995).

Adicionalmente se han desarrollado interesantes hallazgos científicos tras el procesamiento en laboratorio de muestras colectadas por los expedicionarios. Uno de los trabajos más resaltantes fue el descubrimiento de un mineral nuevo para la ciencia denominado Sveita, proveniente de la Cueva del Cerro Autana (SVE 1976a, Martini & Urbani 1984).

Paralelamente se ha participado en el estudio biológico de la cumbre de los tepuys, en cooperación con diversos especialistas, por ejemplo Decu *et al*. (1987), Galán (2000) y Villarreal *et al.* (2002). En ocasión de las actividades binacionales la SVE ha mantenido una actitud atenta al destino de los recursos genéticos que habitan en el subsuelo, en concordancia con la soberanía de Venezuela, llegando incluso a denunciar la colecta ilegal por parte de investigadores foráneos y tramitando la repatriación de ejemplares para su correspondiente archivo en un museo venezolano (Urbani & Bordón 1997). Numerosas exploraciones sirvieron para colectar muestras biológicas de los tepuys, tras lo cual los especialistas han identificado nuevas especies. Una de las interesantes observaciones ha sido el hallazgo de la cavidad con la mayor colonia de guácharos (*Steatornis caripensis*) en Aguapira, estado Bolívar, donde la densidad poblacional obliga a las aves a anidar incluso bajo la luz del sol (Bosque 1986).

Además de los reportes de catastro, entre lo que ha realizado la SVE y lo que han publicado otros colaboradores del grupo y algunos investigadores independientes, existen al menos dos centenares de trabajos descriptivos o analíticos relacionados con las cavernas del macizo guayanés, presentados tanto en el país, así como en boletines espeleológicos extranjeros, con los que se mantiene un regular intercambio científico (Urbani 1990b, 1994). La mayoría de estos artículos han sido reseñados anualmente en la publicación indizadora Speleological Abstracts (UIS 2002 y anteriores).

Este variado panorama de hallazgos ha hecho que la exploración de las simas de los tepuys, aunque aparente ser poco frecuente, haya sido la actividad espeleológica más representativa de nuestro país, aspecto que ha llamado la atención de espeleólogos extranjeros. La SVE ha apoyado o asesorado en la divulgación audiovisual en seis diferentes oportunidades, particularmente en el programa venezolano Expedición (Carreño 1996).

En un sentido deportivo la SVE ha enfrentado importantes desafíos técnicos como es la dificultad para colocar clavos en la dura roca, y la abrasividad de las paredes que a veces se meteoriza en forma de arena y deteriora rápidamente los equipos. A falta de apoyo helitáctico, se escaló exitosamente en tres oportunidades desde la base hasta la cueva del cerro Autana, a lo largo de una pared de mas de medio kilómetro de altura. También se ha participado en el establecimiento de un record Guinness durante el primer descenso y ascenso de un kilómetro de desnivel en vertical absoluta junto a la mayor cascada del mundo, el Salto Angel o Churun Merú del Auyán-tepui.

La cadena de los tepuys orientales de la Gran Sabana ha sido una de las zonas tradicionales de trabajo de la SVE, en donde se ha desarrollado una docena de actividades en seis de las ocho cumbres existentes, en el período de dos décadas comprendido entre 1985 y el presente. Es en esta zona donde se halla la más alta cumbre de la cuenca del río Caroní, el Roraima-tepui, donde está ubicado el punto triple o punto trifinio de la frontera.

ESPELEOLOGÍA EN EL RORAIMA-TEPUI

La primera breve mención de oquedades y grietas en el tepuy se debe al relato de la esposa de un diplomático, primera mujer en ascender al cerro (Clementi 1920). Posteriormente varios jóvenes ingleses hacen una observación acerca de los drenajes subterráneos y acertadamente comentan su potencialidad para actividades espeleológicas (Jeeves 1965).

La cavidad del Roraima que más ha sido visitada es denominada El Foso, la cual consiste en un antiguo salón de colapso que ha formado una pequeña sima inundada de algunas decenas de metros de desarrollo (Brewer 1984). En 1989, los miembros de la SVE ubicaron en el territorio en litigio entre Venezuela y Guyana Inglesa, conocido como Zona en Reclamación, una pequeña cavidad horizontal que posteriormente se ha utilizado ocasionalmente para vivaquear (Carreño 1991). Ambas cavidades se hallan en el sector norte, a varios kilómetros del lugar estudiado en el presente Boletín.

Las visitas a la superficie del Roraima, en el sector sureste, comenzaron a tener mayor auge desde hace unos 10 años aproxi-

madamente, cuando los indígenas de Parai-tepui empezaron a utilizar esta área como localidad para acampar. Posteriormente, en 1997, varios naturalistas relacionados con la SVE, entre ellos David Ascanio, Nicla Camerín y Jonney Escalante, conocieron este sector y notificaron a la directiva de la Sociedad sobre la presencia de abrigos con prolongaciones horizontales y simas con guácharos. A partir de entonces la boca superior del Sistema Roraima Sur fue visitada someramente por numerosos excursionistas, entre ellos algunos miembros activos de la SVE, dejando pendiente su topografía a fin de evitar promocionar una mayor afluencia en un lugar que ya era muy frecuentado. Para ese entonces aún no se conocía la posibilidad de conexión de esa entrada con la mayor red de galerías.

A 0,6 km al este del Sistema Roraima Sur fueron exploradas varias simas de un centenar de metros de desnivel distribuidas en un amplio campo de grietas, en una de ellas se reportó la presencia de una colonia de guácharos. La existencia de guácharos ya había sido reportada anteriormente en la zona por Whitely, quién colectó un ejemplar de esta ave en el área del Roraima en 1883 (URBANI 1981), distribución zoogeográfica confirmada por un ornitólogo venezolano 55 años después (PHELPS 1938), pero hasta 1997 no se había encontrado dónde se hallaba la localidad fronteriza de nidación en el tepuy.

La SVE también reportó otra localidad de nidación cercana, en territorio de Brasil que constituye la colonia de nidación ubicada al extremo oriental del territorio continental y el primer reporte del ave para ese país (CARREÑO *et al.* 2002). Este hallazgo fue producto de una expedición espeleológica helitransportada Italo-Venezolana en la base oriental del Roraima, del lado brasileño de la frontera, cuando se estudió un sistema de cavidades, la mayor de ellas abarca una superficie similar a la de Sima Aonda, pero posee menor desnivel.

Una reciente exploración espeleológica en Roraima ocurrió en el año 2003, cuando un grupo de eslovacos y un checo reseñaron que al interior del abrigo superior había huellas de anteriores visitantes y topografió 2,41 km de la misma cavidad, pero en el sector más amplio que denominaron Ojos de Cristal (SMIDA *et al.* 2003), sin conocer que ambas aberturas estaban interconectadas. Dicha expedición contravino el Código de Ética de la Unión Internacional de Espeleología, suscitando una disputa internacional (SVE 2004)

LA CUEVA DE MAYOR DESARROLLO DEL MUNDO EN CUARCITAS

Para el trabajo topográfico del Sistema Roraima Sur la Sociedad Venezolana de Espeleología realizó cuatro expediciones a lo largo de un lapso de año y medio entre finales de 2003 y los primeros días de 2005. La logística requirió el acarreo de morrales de 23 a 32 kg para cada espeleólogo, además de alguna carga adicional delegada a los guías indígenas. En la aproximación se recorre unos 90 km, entre el ascenso de ida y el descenso de regreso, durante lo cual se supera los 1.800 m de altitud sobre el nivel de la sabana. Cada expedición requirió estancias que tuvieron una duración de cerca de media semana en la cumbre, sin contar con los días dedicados a los recorridos por la sabana.



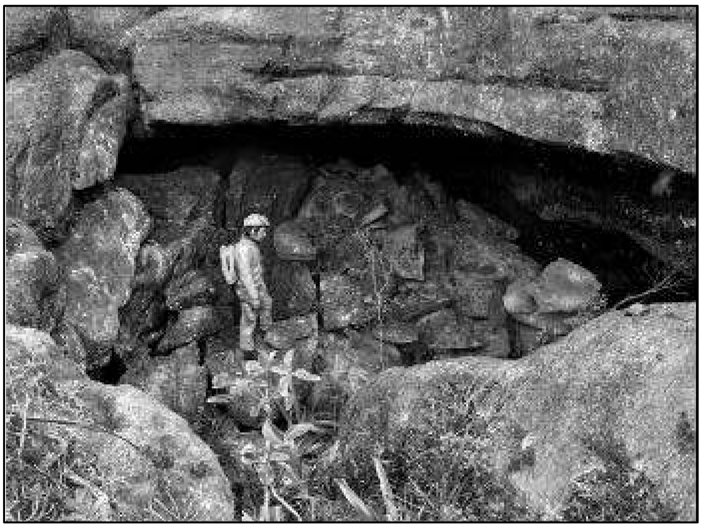
Aspecto del campamento en la boca superior del Sistema Roraima Sur (Foto: R. Carreño).

En esas cuatro ocasiones se debió separar el grupo de la SVE para trabajar simultáneamente bajo tierra en dos o tres pequeños equipos de topografía, lo que implicó realizar un total de 23 sesiones de toma de datos topográficos. En total se requirieron unas 850 estaciones de medición para cubrir los 10,8 km de desarrollo, lo que promedia una separación de una docena de metros entre las estaciones topográficas, intercalando amplios tramos con redes complejas. Esta cifra relativamente pequeña evidencia el carácter laberíntico de la mayor parte de la caverna, ya que en muy pocas ocasiones la ubicación de las estaciones se limitó por agotarse la longitud de la cinta métrica. Muchas de las mediciones se realizaron agachados o acostados en arrastraderos húmedos de fría roca.

Para abril de 2004 el Sistema Roraima Sur ya había alcanzado 5,5 km de desarrollo tras la realización de las dos primeras dos expediciones de la Sociedad Venezolana de Espeleología, cuando se logró conectar la entrada del Hotel Guácharo con la galería principal. La primera comunicación emitida públicamente sobre la obtención de la mayor cueva del mundo en cuarcitas se realizó en junio de 2004 durante el Congreso de la Nacional Speleological Society de EE UU convocada en Marquette, MN (PÉREZ & CARREÑO 2004).

Paralelamente se publicó en septiembre de 2004 un encartado en un conocido diario de circulación nacional incluyendo una breve mención del desarrollo de 6 km alcanzado para esa fecha (HERNÁNDEZ 2004). Posteriormente, al realizarse trabajos adicionales se superó en la cavidad los 10,8 km topografiados, por lo que además de ser la mayor del mundo en cuarcitas también pasó a constituir la segunda mayor cueva de Venezuela, noticia que fue divulgada por primera vez ante la comunidad científica venezolana en las VII Jornadas Venezolanas de Espeleología de diciembre

de 2004 (CARREÑO *et al.* 2004, GALÁN & HERRERA 2004). Posteriormente otras comunicaciones breves han aparecido al respecto en diferentes medios.



Acceso entre bloques a la Galería Central por la boca B 3 (Foto: R. Carreño).

TENDENCIAS DEL CAVERNAMIENTO EN ROCAS CUARCITAS

A partir de la publicación de la topografía de la Sima de la Lluvia aparece la primera cueva kilométrica del mundo en cuarcitas (SVE 1976-b), que por consiguiente en ese momento también era la mayor del mundo en este tipo de rocas y la primera con un extenso sistema interno de galerías oscuras equivalente al de cualquier cavidad en macizos constituidos por carbonatos.

Posteriormente la SVE y otras organizaciones foráneas han reportado por medio de convenios binacionales un total de ocho cavernas kilométricas en este tipo de litología cuarcítica (Tabla 1). Desde mediados de los años setenta varias de ellas han encabezado durante décadas el listado de las mayores y más profundas cuevas en cuarcita, tanto de Venezuela como en el ámbito mundial. Con sus - 383 m de desnivel y 320 de vertical absoluta, la Sima Aonda (Bo.8), fue la cavidad de mayor desnivel del planeta en ese tipo de roca hasta el año 1998 (URBANI & CARREÑO 1998).

En la siguiente tabla el desarrollo acumulado de las ocho mayores cuevas cuarcíticas venezolanas publicadas totaliza más de 22,7 km de galerías. Estas cavidades se hallan ubicadas en el estado Bolívar, entre las cotas 1.400 a 2.650 metros sobre el nivel del mar.

Sigla	Cavidad	Desarrollo	Desnivel	Topografía
Bo.93	Sistema Roraima Sur	10.820 m	- 72 m	SVE-SCA-OUCC 2003-2005
Bo.87	Sima Auyán-tepui NW	2.950 m	- 370 m	SSI-SVE 1993
Bo.54	Sima Aonda Superior	2.128 m	- 136 m	SSI-SVE 1992
Bo.8	Sima Aonda	1.880 m	- 383 m	SVE 1983, SSI-SVE 1993-96
Bo.40	Sima Acopán 1	1.376 m	- 90 m	UEV-SVE 1993
Bo.3	Sima de la Lluvia	1.352 m	- 202 m	FPA-SVE 1976
Bo.2	Sima Menor	1.158 m	- 248 m	FPA-SVE 1976
Bo.83	Sima Aonda 2	1.050 m	- 325 m	SSI-SVE 1993

Tabla 1. Lista de las ocho cuevas kilométricas abiertas en rocas cuarcíticas venezolanas que se han publicado hasta ahora en el Catastro Espeleológico de Venezuela. (Abreviaturas: SVE: Sociedad Venezolana de Espeleología, SSI: Sociedad Italiana de Espeleología, UEV: Unión de Espeleólogos Vascos, FPA: Federación Polaca de Alpinismo, SCA: Sociedad de Ciencias Aranzadi-España, OUCC: Oxford University Cave Club-Inglaterra). Para el momento de escribir esta nota se conoce de una amplia cavidad en Acopán-tepui (macizo de Chimanta), explorada por la iniciativa de Charles Brewer Carías, reportada como de 4,5 km.

En general la mayoría de las cavernas exploradas en los tepuys se desarrollan en sentido vertical, con una proporción relativamente escasa de conductos de carácter horizontal. Las galerías suelen distribuirse en base a una red de grietas subparalelas, con numerosas grietas que las interceptan distribuidas ortogonalmente, siguiendo un patrón de facturación que también se observa en superficie. La caverna que se describe en otras páginas de este mismo Boletín, difiere totalmente de ese modelo vertical reportado recurrentemente, tanto para Venezuela como para otros karsts cuarcíticos, y constituye una importante referencia en el estudio de este tipo de fenómenos.

Según un balance estadístico realizado hace pocos años, tomando en cuenta la información de todo el país (CARREÑO & GHNEIM 1999), las cavernas del escudo guayanés son las que poseen los mayores desniveles en comparación con el desarrollo total topografiado. Excepto el Sistema Roraima Sur, por cada metro de desnivel topografiado anteriormente en el estado Bolívar se había reportado un promedio de 4 m de desarrollo extendido, siendo ésta la entidad federal más tendiente al cavernamiento vertical.

Eso dista mucho de lo observado en karsts de roca caliza, como por ejemplo en Zulia, estado con mayor predominio de cavernas kilométricas horizontales, en donde los espeleólogos han topografiado una media de 22,5 m de galerías por cada metro de desnivel. Ello quiere decir que las cuevas y simas tepuyanas suelen ser mucho más verticales que el promedio nacional (Tabla 2), y cinco veces y media más verticales que la totalidad de las cavernas kilométricas de la Sierra de Perijá, estado Zulia.

El cavernamiento en planos verticales también ocurre en litologías cuarcíticas de otros países, por ejemplo, en la Gruta do Centenario del estado de Minas Gerais en Brasil, donde la red de fracturas cuarcíticas muestra un ancho de pocos metros en la base, mientras que en el extremo superior de esas mismas grietas la continuación de las diaclasas se pierde de vista a decenas de

Estado	Desarrollo (m)	Desnivel (m)	Relación (Desarr./Desn.)
Bolívar	25.752	6.381	4 : 1
Zulia	52.880	2.355	22,5 : 1
Relación promedio de desarrollo/desnivel nacional			**8 : 1**

Tabla 2. Relación proporcional entre el desarrollo topografiado y el desnivel acumulado en dos de los estados donde se han reportado los mayores o más abundantes cavernamientos de Venezuela (Fuente: Carreño & Ghneim 1999, sin incluir los datos espeleométricos del Sistema Roraima Sur). Hay que notar que las dos variables utilizadas son algo heterogéneas, ya que el desarrollo es producto de una sumatoria, mientras que el desnivel es la diferencia entre las cotas distales, por lo que la comparación sólo tiene un carácter ilustrativo.

metros por encima del piso (Auler et al. 2001, Rodríguez & Silverio 2002). Cabe destacar que dicha gruta constituye la más profunda del mundo en ese tipo de roca al alcanzar los -483 m, además, sus 3.790 m de desarrollo horizontal y 4.700 m de desarrollo total la hacían la mayor caverna del mundo abierta en cuarcita, hasta la realización del trabajo de la SVE en Roraima en 2004. En Sur África también se han reportado cavidades con desniveles de hasta 300 m en el macizo de arenisca de Chimanimani (SASA 1994).

COMENTARIOS PARA LA CONSERVACIÓN

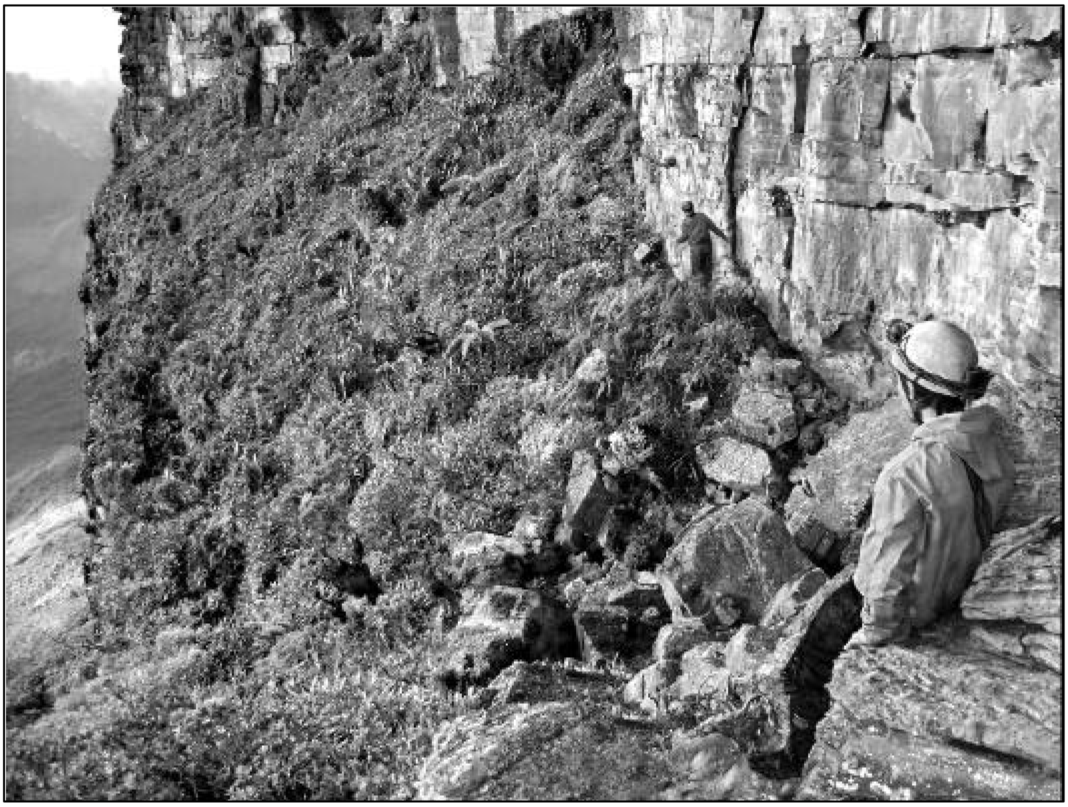
El Sistema Roraima Sur destaca por ser el más notable ejemplo de cavidad con recorrido horizontal en arenisca, fenómeno que ya había sido divulgado a nivel internacional cuando se descubrió la Sima de la Lluvia de Sarisariñama, hace casi tres décadas, habiendo sido ésta la primera cueva kilométrica en cuarcita a nivel mundial y con características similares a las de una clásica cavidad kárstica, como aquéllas desarrolladas en calizas.

En el caso de Roraima se trata de un tepuy que tiene muchas menos restricciones de acceso que Sarisariñama, por lo que las amenazas al medio ambiente seguramente tendrán un impacto considerable en el corto y mediano plazo. Es por ello que se deben tomar en cuenta ciertas previsiones para que este patrimonio natural no se vea afectado negativamente.

Actualmente algunas personas en la cumbre del tepuy utilizan pequeñas palas para enterrar sus evacuaciones lejos de las carpas, sin embargo ese método resulta muy perjudicial para la débil vegetación que es desprendida del escaso suelo disponible. Esta situación sanitaria, concentrada en una pequeña área, puede incluso generar afecciones digestivas entre los centenares de personas que semanalmente visitan la cumbre y consumen las aguas de los alrededores. Seria preferible evacuar en la vertiente del borde sur del cerro, para aprovechar la escorrentía que fluye hacia el farallón.

Es necesario controlar los lugares donde liberan sus excretas los numerosos excursionistas del campamento Guácharo, debido a la cercanía entre la zona de pernocta y los sumideros del sistema hidrológico. Hay que tomar en cuenta que allí la pendiente del sector drena hacia las galerías y desde el punto de vista bioquímico, la cueva está recibiendo desde hace varios años materia orgánica aportada directamente por la afluencia de excursionistas.

Estos aportes dejados diariamente en superficie pueden alterar el frágil equilibrio subterráneo, lo cual afectaría una serie de pequeños seres vivos que ya de por sí sobreviven en condiciones naturales adversas. Al aporte microbiano mencionado arriba se suma el aporte de diversos químicos que usualmente son acarreados durante las expediciones, como por ejemplo combustibles, detergentes, dentífricos, aceites, cremas, alimentos, desechos sólidos, etc. Por lo tanto, no sólo las pocas personas que ingresen a la cueva podrían afectarla, sino que cualquier visitante,



Aspecto de la boca E 1 en la pared oeste del Roraima, con el tepuy Kukenán a la distancia (Foto: R. Carreño).

aun sin saberlo, podría generar cierto impacto en el ámbito hipógeo. Esto debe ser considerado por los indígenas, por los operadores turísticos, los investigadores y en general por los futuros visitantes de la caverna.

Volviendo al ámbito subterráneo, en el Sistema Roraima Sur confluye la fragilidad inherente a todo ecosistema subterráneo, además de la fragilidad propia de los tepuys. Esta doble fragilidad se ha notado con las primeras incursiones de turistas. En algunos sitios de paso obligatorio quedaron huellas del tránsito, debido a que la arenisca, a pesar de ser mayoritariamente resistente, en algunos puntos se ha debilitado tanto por la influencia de la meteorización, que se puede desmoronar gracias al avanzado proceso de arenización de la roca caja. Por otra parte algunas rampas y dunas semi-cementadas por las mineralizaciones silíceas se agrietan y fragmentan con el paso de la gente, interrumpiendo un fenómeno natural que ha tardado mucho tiempo.

Otro aspecto importante es el de la preservación de las delicadas estalactitas, que serían vandalizadas si la cavidad llegara a recibir un contingente de excursionistas no familiarizados con la conciencia ética del espeleólogo. Aunque se trata de un material ya conocido en otras cavernas, la decoración mineral de Roraima resulta excepcional debido a su cantidad, su morfología y sus dimensiones, pudiendo ser fácilmente extraídas como souvenir o simplemente pudieran ser desprendidas y luego abandonadas en el piso. Al respecto hay que notar que las estalactitas no tienen ningún valor comercial ni estético, ya que a primera vista parecen una simple barrita de cemento. La destrucción de los elementos rocosos ya ha ocurrido en numerosos lugares, por lo que la potencial amenaza no es una mera especulación, incluso cuando se inculcan criterios al respecto.

En este sentido se ha discutido la utilización del nombre de «Cueva Ojos de Cristal», debido a que ello alimentaría entre los interesados la falsa la expectativa de hallar en el subsuelo cristales de cuarzo, motivación que tanto ha afectado negativamente la superficie de ese mismo tepuy y que ha incitado a la sistemática destrucción de vetas expuestas a cielo abierto. En concordancia con las normas toponímicas vigentes se consideró registrar en el Catastro Espeleológico de Venezuela el más importante nombre geográfico pre-existente en la zona.

En otro orden de ideas, la descripción de la caverna presentada en este mismo Boletín ofrece un panorama general de los hallazgos topográficos, pero el contenido todavía es incipiente en cuanto a sus aspectos geo- o bioespeleológicos y esta localidad todavía debe ser estudiada científicamente por analistas pertenecientes a diversas especialidades. En miras a su preservación habría que determinar cuáles son los recursos biológicos que pudieran habitar en ella y estudiar el intercambio ecológico entre el subsuelo y el ambiente epígeo. El Sistema Roraima Sur también resalta por su potencial investigativo en las áreas de karstología, mineralogía, microclimatología e hidrología; aspectos que ocuparán el trabajo de las próximas expediciones de la SVE. Para ello es importante contar con el apoyo institucional que un proceso de esta envergadura merece, ya que las complicaciones logísticas y administrativas reducen la capacidad de trabajo efectivo.

Respecto a futuras expediciones espeleológicas extranjeras en los tepuys del país, y también en otros tipos de karsts venezolanos, es necesario mantener el criterio de que todas las actividades se realicen de manera transparente, continuando bajo el usual esquema de las cooperaciones binacionales. Con ello no se aspira restringir el acceso a otros actores, sino que se prevé aunar esfuerzos entre pares, tal como se ha realizado exitosamente en el pasado. Para ello la Sociedad Venezolana de Espeleología ha constituido la contraparte nacional tanto para el trabajo explorativo, mayoritariamente deportivo; así como el trabajo institucional, mayoritariamente científico. La experiencia acumulada en estas labores compartidas en Venezuela corresponde a una de las tradiciones más antiguas de Latinoamérica para la rama de la espeleología.

Para finalizar, hay que señalar que de momento hay que considerar que casi todo el Sistema Roraima Sur carece de potencial turístico. En ese sentido es necesario hacer notar que la caverna puede ser peligrosa para visitantes no familiarizados con la espeleología debido a varias situaciones: La debilidad de algunos estratos de roca caja que pueden desprenderse, la inestabilidad de pesados bloques caídos que quedaron en rampas en equilibrio y pudieran rodar, también es crucial recordar lo intrincado de numerosas galerías que podrían desorientar a las personas en sectores laberínticos, así mismo la extensión kilométrica de la cueva reduce la posibilidad de recibir asistencia desde el exterior en caso de dificultades, diversos pasajes incómodos de techo bajo dificultan la progresión en tramos muy extensos, además de otras combinaciones de factores naturales o humanos que potencian el riesgo.

Vale la pena dedicar unas breves palabras adicionales a la posibilidad de experimentar rápidas inundaciones en las galerías inferiores de la caverna, ya que en ellas confluyen las aguas durante las frecuentes y violentas lluvias. Este aspecto suele ser subvalorado cuando no se ha visto actuar una crecida en espacios confinados, pero en el caso de los tepuys la subida del nivel de las aguas resulta una amenaza frecuente. Por ende, al no conocer el régimen hidrológico local, resultaría una imprudencia utilizar la cueva como localidad de refugio durante los torrenciales.

Las fotografías presentadas en este boletín corresponden a un pequeño sector de galerías amplias que dan la impresión de constituir un ámbito cómodo. Hay que señalar que los ambientes s ubterráneos no son peligrosos por sí mismos, es el ser humano el que se somete a unas particulares condiciones de exploración, para las cuales la mayoría de los excursionistas no suelen estar preparados. Si por inexperiencia se desconocen las variables moduladoras del sistema, la misma cueva que inicialmente puede parecer un espacio atractivo y apacible también puede someter a los visitantes a diversos imprevistos, ya que la naturaleza suele tener la última palabra.

REFERENCIAS

Aguerrevere S., E. López, C. Delgado & V. Freeman. 1939. Exploración de la Gran Sabana. *Revista de Fomento*, Ministerio de Fomento. 19: 501-729.

AULER A., E. RUBBIOLI & R. BRANDI. 2001. *As grandes cavernas do Brasil*. Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas. 228 pp.

BOSQUE C. 1986. Actualización de la distribución del guácharo en Venezuela. *Bol. Soc. Venezolana Espeleol*. 22: 1-10.

BREWER Ch. 1984. *Roraima, la montaña de cristal*. Editorial Arte, Caracas. 156 pp.

BREWER Ch. 1986. *Sarisariñama.* Editorial Arte, Caracas. 226 pp.

CARREÑO R. 1991. Boletín informativo Nº 1. *El Guácharo*, SVE 29: 40-42.

CARREÑO R. 1996. Actividades espeleológicas venezolanas desde 1990 hasta 1995. *Bol. Soc. Venezolana Espeleol.* 30: 56-69.

CARREÑO R. & K. GHNEIM. 1999. El Catastro Espeleológico de Venezuela, un balance cuantitativo de lo publicado entre 1967 y 1998 (resumen). V[as] Jornadas Venezolanas de Espeleología, USB, Caracas. 46-47.

CARREÑO R., J. NOLLA & J. ASTORT. 2002. Cavidades del Wei-Assipu-tepui, Macizo del Roraima, Brasil. *Bol. Soc. Venezolana Espeleol.* 36: 36-45.

CARREÑO R., W. PÉREZ, C. GALÁN, F. HERRERA, J. ASTORT, F. BLANCO, O. VILLAREAL, J. I. del CURA, M. A. PÉREZ, G. GARCÍA. 2004. Los 6 km de la Cueva Roraima Sur: nuevo record mundial de desarrollo en rocas cuarcíticas del estado Bolívar (resumen). VII Jornadas Venezolanas de Espeleología, UCV. Impreso: Bol. Inf. Comisión Geoespeleología FEALC, 55, enero 2005.

CLEMENTI M. P. R. 1920. Through British Guiana to the summit of Roraima, by Mrs. Cecil Clementi. T. Fisher Unwin, London and Dutton & Company, New York. 236 pp.

DECU V. *et al*. (Eds. 1987). *Fauna hipogea y hemihedáfica de Venezuela y de otros países de América del Sur*. Acad. Rep. Soc. Romania y SVE, Bucarest. 219 pp.

GALÁN C. 1991. Disolución y génesis del karst en rocas carbonáticas y rocas silíceas: un estudio comparado. *Munibe*, San Sebastián. 43: 43-72.

GALÁN C. 1995. Exploración y estudio de cavidades en rocas silíceas precámbricas del Grupo Roraima, Guayana Venezolana. *Karaitza*, San Sebastián. 4: 3-12.

GALÁN C. 2000. Herpetofauna colectada en expediciones a cavidades en tepuys de la Guayana venezolana. *Bol. Soc. Venezolana Espeleol.* 34: 11-19.

GALÁN C. & F. F. HERRERA. 2004. Génesis de la Cueva Roraima Sur, Venezuela: la mayor cavidad del mundo en cuarcitas (resumen), VII Jornadas Venezolanas de Espeleología, UCV. Impreso: Bol. Inf. Comisión Geoespeleología FEALC, 55, enero 2005.

HERNÁNDEZ T. (Edit.). 2004. Grandes maravillas de Venezuela. Editora El Nacional. Caracas. 240 pp.

JEEVES S. 1965. *Journey to the lost world.* London University Press. 95 pp.

MAEZTU J., J. DE IPIÑA, F. ALANGUA & I. LATASA. 1995. Catálogo de cavidades exploradas en el macizo de Chimantá. *Karaitza*, España. 4: 33-44.

MARTÍNEZ J. 1989. Venezuela, Sima Aonda (-362 m). *Desnivel*, r*evista de montaña*, España, 49: 52-55.

MARTINI J. & F. URBANI. 1984. Sveita, un nuevo mineral de la cueva del Cerro Autana (Am.11) Territorio Federal Amazonas, Venezuela. *Bol. Soc. Venezolana Espeleol.* 21: 13-16.

PÉREZ M.A. & R. CARREÑO. 2004. Exploration of the Roraima Sur Cave, Bolivar State, Venezuela, the longest quartzite cave in the world. *Journal of Cave and Karst Studies*, National Speleological Society, USA. 66(3): 116.

PHELPS W. H. 1938. La procedencia geográfica de las aves coleccionadas en el Cerro Roraima. *Bol. Soc. Ven. Ciencias Naturales, Caracas*. 36: 1-81.

PEZZOLATO P., L. PICCINI & A. BONUCCI. 1994. Descrizione delle cavitá explorate durante la spedizione «Tepuy 93». Progressione, Italia. 30: 42-67.

RODRÍGUEZ R. & M. O. SILVERIO. 2002. CNC – Cadastro Nacional de Cavernas do Brazil. *InfomAtivo SBE*, Sao Paulo. 79: 8-12.

SASA - SOUTH AFRICAN SPELAEOLOGICAL ASSOCIATION. 1994. South African Spelaeological Association Bulletin. The 1993 Chimanimani Expedition. Vol. 35.

SMIDA B., M. AUDY & L. VLCEK. 2003. Expedicia Roraima 2003, Venezuela, Jaskyña Krystalove Oci. Spravodaj SSS, 192 pp.

SVE – SOCIEDAD VENEZOLANA DE ESPELEOLOGÍA. 1976a. Cueva del Cerro Autana. *Bol. Soc. Venezolana Espeleol*. 7(13): 81-85.

SVE – SOCIEDAD VENEZOLANA DE ESPELEOLOGÍA. 1976b. Sima de la Lluvia de Sarisariñama. *Bol. Soc. Venezolana Espeleol*. 7(13): 97-99.

SVE – SOCIEDAD VENEZOLANA DE ESPELEOLOGÍA. 2004. Expedición ilegal de espeleólogos checos y eslovacos al Parque Nacional Canaima, Venezuela. Noti-FEALC, Malargue, Argentina. 20: 18-22.

UIS - UNIÓN INTERNACIONAL DE ESPELEOLOGÍA. 2002. Bulletin Bibliographique Speleologique Speleological Abstracts. Suiza.

URBANI F. 1981. Listado de ejemplares de Steatornis caripensis Humboldt conservados en museos. *El Guácharo*, SVE. 21: 17-23.

URBANI F. 1986. Notas sobre el origen de las cavidades en rocas cuarcíferas Precámbricas del Grupo Roraima, Venezuela. *Interciencia*, Caracas 11(6): 298-300.

URBANI F. 1990a. Algunos comentarios sobre terminología kárstica aplicada a rocas silíceas. *Bol. Soc. Venezolana Espeleol*. 24: 5-6.

URBANI F. 1990b. Bibliografía sobre cavidades desarrolladas en rocas no carbonáticas. *Bol. Soc. Venezolana Espeleol.* 24: 1-4.

URBANI F. 1994. Bibliografía espeleológica venezolana. Parte 1. Análisis del contenido del Boletín El Guácharo. *El Guácharo*, SVE. 35: 74-100.

URBANI F. 1997. Expediciones de la SVE a la meseta de Sarisariñama. *El Guácharo*, SVE. 40: 6-7.

URBANI F. & C. BORDÓN. 1997. Spedizione «Auyán-tepui 1992» – Venezuela, riposta a Mauro Inglese. *El Guácharo*, SVE. 40: 8-11.

URBANI F. & R. CARREÑO. 1998. Las mayores cavidades de Venezuela, abril 1998. *El Guácharo*, SVE. 42: 160-161.

VILLARREAL O., C. SEÑARIS & C. DONASCIMIENTO. 2002. Contribución al conocimiento faunístico del Wei-Assipu-tepui, macizo del Roraima, con énfasis en la anurofauna y opiliofauna. *Bol. Soc. Venezolana Espeleol.* Caracas. 36: 46-50.

RORAIMA SUR SYSTEM, VENEZUELA: 10. 8 KM, WORLD'S LONGEST QUARTZITE CAVE

Carlos GALÁN [1, 2], Francisco F. HERRERA [1, 3], Rafael CARREÑO [1] & María A. PÉREZ[1, 4]
[1]Sociedad Venezolana de Espeleología, Apartado 47. 334, Caracas 1041-A, Venezuela;
[2]Sociedad de Ciencias Aranzadi, Alto de Zorroaga, 20014 San Sebastián, España. Correo-e: cegalham@yahoo.es
[3]Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Apartado 21827, Caracas 1020-A, Venezuela.
[4] Department of Anthropology, University of Michigan, 101 West Hall, Ann Arbor, MI 48109, USA.

Recibido en junio de 2005

ABSTRACT

The Roraima Sur System is developed in quartzite and other siliceous rocks that are part of the Roraima Group (Proterozoic - Precambrian age). The cavity is located at the summit of tepuy Roraima (Venezuelan Guayana) and was surveyed by the Sociedad Venezolana de Espeleología in the past three years. It is a single interconnected network of passages with 10,820 m of development and -72 m of depth. Evidence obtained in the passages suggests that cave inception followed weak lithologies, constituted by thin layers of very fine grained pink quartzite, with levels of shale and interbedded siltstone. The age of the cave has been estimated to over 10 million years, although the beginning of the formation of the system may be considerably older (several tens of millions of years), having disappeared part of the network by the advance of surface erosion. This system offers new insights in the understanding of cave formation in quartzite. In particular, Roraima Sur System shows that several conditions and factors (hydrogeological and stratigraphic) are necessary for cave formation in quartzite which rarely coexist.

Key words: Quartzite karst, geomorphology, hydrology, Venezuelan Guayana.

RÉSUMÉ

Système Roraima Sud, Venezuela: 10,8 km la plus longe grotte en quartzite du monde.

Le Système Roraima Sud s'ouvre dans des quartzites et autres roches siliceuses qui appartiennent au Groupe Roraima (Ere Proterozoïque – Précambrien). La cavité est située au sommet du tepuy Roraima (Guayana vénézuélienne) et a été topographiée par la Société Vénézuélienne de Spéléologie (SVE) durant les trois dernières années. Il s'agit d'un unique réseau de galeries interconectées qui a un développement de 10.820 m et atteint –72 m de dénivelée. Les indices obtenus dans les passages suggèrent que la cavité a suivi inicialement les lithologies faibles, constituées de minces couches de quartzite rose finement granulée, avec des niveaux de schistes et des argiles intercalés. L'âge de la cavité a été estimé à plus de 10 millions d'années, bien que le commencement de la formation du système puisse être considérablement antérieur (plusieurs dizaines de millions d'années), une partie du réseau ayant disparu par suite de la progression de l'érosion superficielle. Ce système offre de nouveaux indices pour la compréhension de la formation des cavités en quartzite. En particulier, le Système Roraima Sud montre que plusieurs conditions et facteurs (hydrogéologiques et stratigraphiques) sont nécessaires pour la formation de cavités horizontales en quartzite, et qu'ils coexistent rarement.

Mots clé: Karst en quartzite, géomorfologique, hydrologique, Guayana vénézuélienne.

INTRODUCTION

The knowledge on karst in quartzite (quartz-arenite) is still in its initial phases. Due to the low solubility and low rate of dissolution of quartz, it was long thought that the formation of karst and cavities in this extraordinarily hard and compact rock type was not possible.

During the 1970's many caves were explored (mainly in Venezuela, Brazil and South Africa), with predominance of vertical development (of up to -480 m of depth), sometimes of great internal volume (Sarisariñama, Aonda, North Auyán-tepui), but also several with more than 1 km of horizontal development (URBANI 1977,1981). Until two years ago the longest quartzite cave in the world was Gruta do Centenario, Brazil with 4.7 km. The recent findings in the Roraima Sur System almost triples the previous developments and shows that, under special circumstances, karst on siliceous rocks can form extensive and complex caves, comparable in many cases to those of the classic karst in limestone.

We use the term quartzite since the rocks from the Roraima massif show evidence of very low grade metamorphism (pyrophylite as key mineral).

The works of the Venezuelan Speleological Society (SVE) and partners in the Venezuelan Guayana have allowed the survey of 89 cavities. Most of them are big shafts, with rectilinear layout, whose entrances were mainly located by means of air reconnaissance on inaccessible summits of tepuys or quartzite plateaus of Southern Venezuela. The System here described, however, displays several moderate or small sized entrances, only found by direct prospecting. Moreover, the entrances are masked by steep relief, with a great number of cracks, small tubes and fillings of blocks. In fact, 12 of the 18 entrances were found from the exploration of the internal passages.

The first information the SVE had on such caves was in 1994, when one entrance was partially explored, but its survey was postponed due to other exploration priorities. In 2003 a foreign group made a partial (main passages) survey of subsystem 1.



View of Kukenan tepuy from Roraima top (Photo: R. Carreño).

During the explorations by the SVE and colleagues, three caves were separately surveyed, but successive explorations allowed connecting them and finding additional entrances and passages. A great jump took place in a 2003-2004 exploration when connecting a total of 8 entrances (subsystem Roraima Sur 1), obtaining a development of 6,042 m, which placed the cavity as the longest quartzite cave of the world (CARREÑO *et al*. 2004, GALÁN & HERRERA 2004). In these explorations a second subsystem was located and explored (Sima 2). Two expeditions in 2005 surveyed an additional 4. 8 km in Sima 2, discovering four spectacular entrances opened to -70 m on the outer wall of tepuy, and also allowed the connection of both subsystems. The underground drainage, of which the main collector was found (an underground river of 250 l/s), derives through vertical fissures until reaching a zone of springs located in the base of the wall, 700 m under the summit.

In the 2004-2005 explorations, whose results are presented in this issue, the SVE counted with the collaboration of several members of the Aranzadi Sciences Society (SCA, Basque Country, Spain) and the Oxford University Cave Club (OUCC, United Kingdom).

Today this single cave system interconnects 18 entrances and reaches 10,820 m of development and -72 m of depth, some 400 m of additional small passages have been explored but not surveyed due to lack of time. This cave system with more than 11 km now makes the longest cave in the world opened in quartzite.

GEOGRAPHIC CONTEXT

Roraima Sur System is located in the summit of Roraima table-mountain (2,810 m above sea level), to the south of the triple point border between Venezuela, Brazil and Guyana. It is near the S-SW wall and entirely in Venezuelan territory. The UTM coordinates of the upper entrance (E1) are N 570. 430 and E 746. 780, 2,746 m a. s. l., GPS WGS 84, zone 20 N.

To reach the cave it takes a two days walk with about 40 km of distance and 2,000 m of non-technical vertical climb. In spite of being in a tropical zone at 5° North of the equator, the altitude makes the temperature of underground waters to around 12° C. At the surface the daily temperature oscillates between 25 and 5°C. The high rainfall in the region adds additional difficulties. The area of Roraima and Kukenán constitutes a nucleus of high rainfall (5,700 mm/a), with a scarcely marked «dry» period, from January to March. Due to the trade winds, these mountains receive clouds coming from the low jungles of Guyana. The summit of Roraima is covered with clouds most days of the year with frequent drizzles and rain. Despite this, the incident solar radiation is high. The flat topography and the almost entirely rocky summit (of about 10 x 15 km of extension) cause the rainwater to quickly flow into fractures, and in many cases reach the edges of the plateau. Each square kilometer of surface generates an annual mean volume of 154 l/s, and could reach swellings over 2 m^3/s.

CAVE DESCRIPTION

The cave consists of a predominantly horizontal network which follows the low dip of the quartzite beds. The system is developed at little depth below the surface; there are several pits, with depths of around 30 m, which connect the surface to the horizontal underground network. The lower entrances, which open like windows to the emptiness of the great outer wall of the tepuy open at about 70 m below the summit.

The system has 18 entrances: six horizontal entrances, eight shaft entrances, and four opened to the outer wall of the tepuy. The six horizontal ones and two shafts (B1 to B8) allow access to the subsystem 1. Shaft 2 allows access to subsystem 2, which has six entrances: two shafts (S1 to S6) and the four outer wall windows (E1 to E4) which are inaccessible or hardly accessible from above. A very small and difficult passage, which is flooded in case of swelling, constitutes the connection between both subsystems.

Inside the network, there are several zones of labyrinth layout and low ceilings (following bedding planes) subject to total flooding in case of swelling. Due to the fluctuating weather of the region and that several entrances of the system work as important sumps, the underground rivers that cross the active galleries respond quickly to rainfall. The volumes of swelling even in the dry season suggest that the underground river may reach more than 1 m^3/s, increasing by several meters the water level of the inner lakes and flooding completely diverse zones of low ceiling. Small affluent galleries, usually dry, are flooded in accordance with the quantity of rainfall. These variables and the fact that some passages have water all the year around, make exploration very difficult due to the low temperature and the danger of further flooding. The difficulty of the vertical progression is low, limiting itself to some access shafts and some small and easy inner climbs.



Exploring on top of Roraima (Photo: R. Carreño).

Subsystem 1 of 6 km is made up of 4 large galleries, interconnected by smaller galleries and with annexed labyrinth networks. The Upper entrance 1 (level 0) gives access to a wide inactive gallery (*Galería Oeste*) that alternates with narrow passages and becomes active in its lower half, when receiving the water that enters through a waterfall from the roof. Entrance 2, after a narrow passage with strong slope, leads to a large inactive gallery similar to the main one (*Galería Paralela*). Entrance 3, hidden between blocks, is drained by a depression and originates the Central Gallery. It is also crossed by a small river, with several waterfalls and pools. Another big gallery (East Gallery) captures the drainage of another adjacent depression. The Parallel and East galleries eventually converge with the Central Gallery. The water disappears at impassable drains when reaching the base of an entrance-shaft of -18 m of depth (B8, level -45).

Half way the Parallel Gallery connects with the *Galería Oeste* through a conduit of winding layout and low ceiling. At its end, the *Galería Oeste* displays zones of low ceiling, with water, where we found the key section that allowed connecting with the second subsystem. These galleries follow a northern direction.

Subsystem 2, of 4.8 km, has two entrances of parallel shafts, -27 m of depth and one lower labyrinth and flooded network. Shaft 2 drains one third of a depressed flat zone. A permanent waterfall of large volume in case of rain, is located at its entrance. A horizontal and labyrinth network of galleries connects both shafts. These wide galleries, however, have a low ceiling and are flooded with 1 m of water. Passages between blocks allow access to the River Gallery that is the main collector of the system.

Up river there is no continuation, but a very narrow passage as a bypass returns towards the shaft S2, which allows reaching the connection with subsystem 1.

Down river, the waters reappear under blocks, giving access to the *Galería del Río*. This one is as much as 20 m wide and has large pools, alternating with small waterfalls in its route. The network takes a W-NW direction. The river receives several discharges, coming from smaller galleries, and in its final section the waters disappear in low and narrow fissures and between blocks of the ground of a great hall. This terminal drainage point is at -72 m. The *Galería del Río* continues as a small volume until a fork which divides into a short and a dry gallery. The latter leads to the main lower entrance, which opens to the cornice of the outer wall, located at -70 m.

At the middle of the River Gallery, it displays two important lateral inactive passages of South direction and ascending slope. The first of them (*Galería del Merey*) ascends until a vertical step of +6 m, which in turn leads to a second entrance in the outer wall. The second gallery runs parallel and connects with the previous one in its middle part. This route is located under the base of four shaft entrances (skylights), of 30 to 15 m of depth, and ascends up to the third outer wall entrance (this window is at a short distance of the summit). Subsystem 2 presents a reticule of lateral labyrinth passages, but is much less extensive than in subsystem 1. The ones located to the N of the lateral drain form an extensive and fissured flat zone, and contribute important volumes in case of rain. The waters of the system are lost in several points under blocks and reappear at 700 m of depth, through a series of springs located in the base of the outer SW wall of the tepuy.

The cave resembles a typical limestone cave, with a predominance of galleries of rectangular profile (wider than higher, with flat ceilings and grounds), due to the intersection of the horizontal stratification with the vertical joints. Despite this, tubular galleries of small diameter and other great ones do exist, with arched roofs or domes that have evolved by the collapse of ceiling blocks, until reaching a balanced profile. The cave shows numerous forms of dissolution and collapse, sand fillings, and innumerable and diverse speleothems of opal and goethite.

The cave is also remarkable because of the lack of fauna and the aesthetic of its passages. The pink tones of the rock, the sand fillings, the pools and water obstacles, speleothems and the smooth forms of dissolution (circular rock bridges, pillars, kettles) constitute scenic sets of singular beauty, unusual in the limestone caves.

Diverse evidence obtained in the galleries suggests that the development of the cave network at least initially followed preferred weak lithologies, constituted by thin layers of very fine grained pink quartzite, with thin levels of interbedded shale and siltstone. The process of weathering (by the dissolution of rock cement) of the contiguous rock, from these levels of greater weakness in the stratigraphic series, has extended the karstification of the area.

Other factors that have influenced the network's genesis are: the dip of the rock toward the inner areas of the tepuy; the presence of flat depressions that allow to capture the superficial drainage through several entrances; the existence of a system of vertical fractures associated with the mechanics of decompression of the edges of the tepuy, which allows to establish the underground drainage and to derive it towards springs. Please refer to other studies in this issue for further examination of these factors and a complete and detailed description of the cavity.

Roraima Sur System, with inactive and active galleries, captures the dispersed infiltration on its surface, but it also has sink-entrances that concentrate surface water intake from surrounding impermeable contiguous areas. Some passages have been formed probably tens of millions of years ago under old surfaces no longer present today due to surface erosion and the backward movement of the external wall.

The hydrological distribution of galleries and its features show an evolution with a progressive collapse of the underground drainage, next to the dismantling of their higher and old parts. Moreover, the position of the springs suggests continued excavation and enlargement of galleries with vertical layout, directly between the drains of the interior of the cave and the spring areas.

System evolution

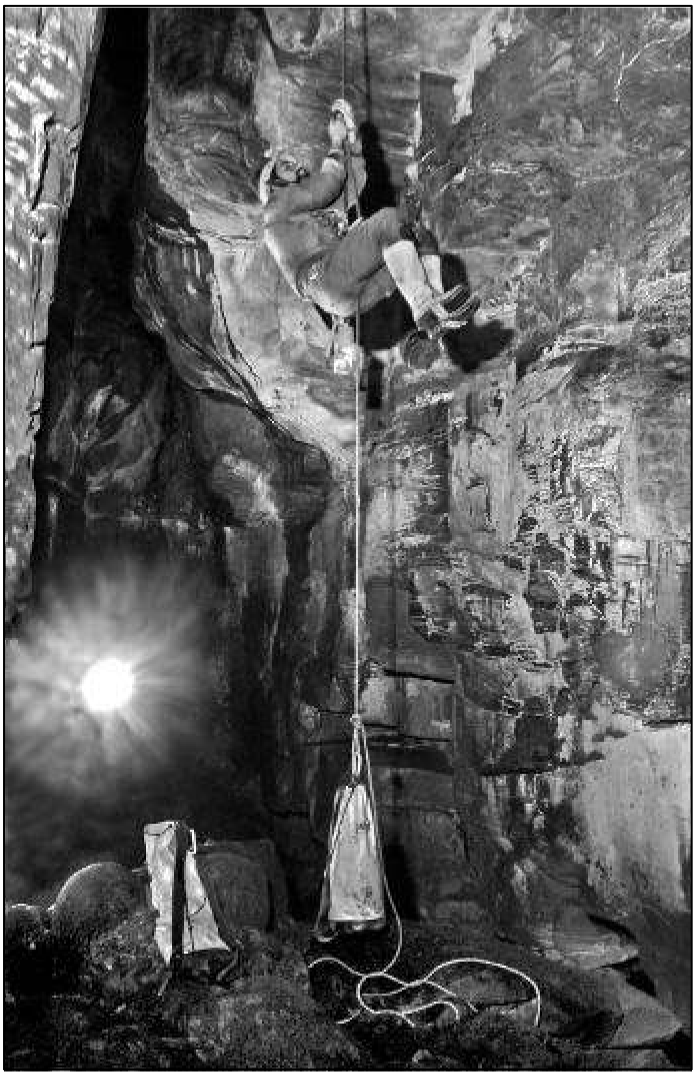
The observed geomorphological features in the cave system indicate that the water infiltration takes advantage of discontinuities or structural zones of weakness.

The dip of strata and the topographic slope have a weak northward inclination, directing the superficial and underground drainage away from the edge of the tepuy, thus facilitating the infiltration or at least not allowing the water to easily leave the summit via waterfalls or edge fractures. In the caves one can distinguish the hydrologically active from the inactive galleries. However, during the rainy season some inactive galleries may have take small water flows, due to local infiltration. In much of the network of galleries the hydrological regime is intermittent and it appears to be permanent only in the *Galería del Río* (collector), in the passages that come from the sumps B3, B7 and S2, and in the lower half of the *Galería Oeste* (from waterfalls from its ceiling).

The entrances and galleries that drain the three extensive existing depressions in the zone are constantly supplied by water. This is also the case in lateral passages that have enough depth to collect small dispersed infiltrations, but with very low discharges.

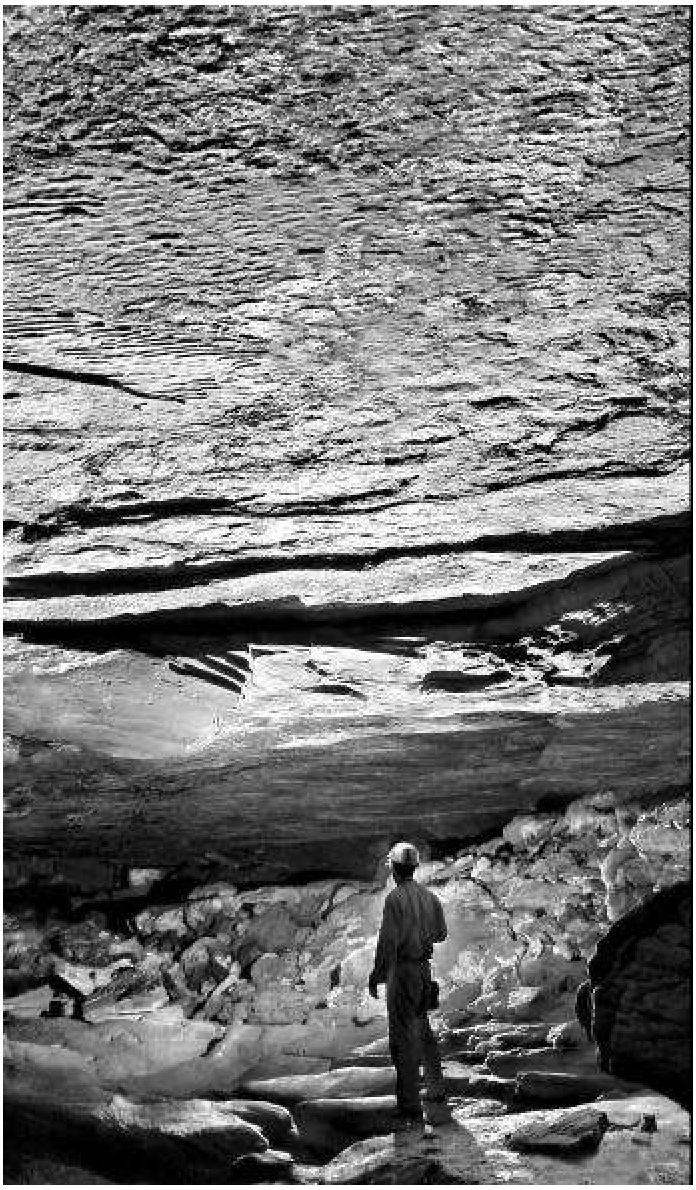
Our observations suggest a relationship between the volumetric growth of the galleries and the water flow either present or now drained. The larger the circulating water volume (whether past or present) gives rise to a higher value of the specific dissolution around the drainage, as well as that of the excavated underground volume.

Based on our observations, there are galleries that currently do not show sufficient water as to explain their formationFor example, this is the case of the upper half of the large *Galería Oeste*, the *Galería Paralela*, and the passages of Merey and Claraboyas, as well as all other additional series of lateral and smaller galleries (Lateral 82, etc.). The dimensions of these conduits are in no way proportional to the existing (if at all) volume of water running through them. These galleries must have had a past circulation of large volumes of water. The hydrologically inactive galleries are waterless not only because of a deepening or carving of the underground drainage. But rather, these galleries lack water mostly because they have lost their main feeding areas to ongoing superficial erosion. The present active galleries take advantage not only of local infiltration, but fundamentally the capture of the superficial drainage of adjacent depressed areas which have been reduced by surface erosion throughout time.



Aspect of Sima 2 in subsystem 2 (Photo: R. Carreño).

Today's observable galleries have, therefore, different ages. The active galleries may have begun to form at different times, but they continue being excavated. Among the inactive galleries - product of the dismantling of the surface relief- the oldest occupies the highest position in relation to the stratigraphic series. It seems clear that the entrances B1 and B2 currently hang with respect to entrance B3 which drains the existing depression to its side. The entrance B1 had to drain a now missing ancient surface; this entrance now hangs at about 8 m over an adjacent flat zone. The same happens with entrance B6, which hangs with respect to B7. This last one is in process of ending up hanging as well, due to the lower water entry from a reduced adjacent depression.



Galería del Río showing a typical quartzite cave morphology (Photo: R. Carreño).

With regards to subsystem 2, we have already commented on the dismantling, due to the backward movement of the external wall, of the probable upper sections of the galleries that open to the wall. This evidence allows us to postulate an evolution of the system. We hypothesize the following series of evolutionary stages, from older to more recent:

(1) In subsystem 1, B1 is the oldest entrance since it is at the highest level of the stratigraphic series. This entrance and the large Galería Oeste that continues from it had to capture an important superficial drainage, and iIt probably drained the adjacent flat surface, then situated at a higher level and extending further south. This implies a retreating movement of the South escarpment (perhaps by a hundred of meters) and of a lowering of the surface (in the order of tens of meters) (PHASE 1).

(2) Part of the previous platform that fed the B1 entrance is reduced to the elevation of entrance B2. Progressively it captures the drainage of the external river basin and leaves the B1 entrance inactive (PHASE 2).

(3) During the formation of conduits and galleries in the lithologically weak outliers, the surface progressively lowers and new entrances are opened at the elevation of the ceiling of B3 and B7. The feeding zone moves to the new lower depressions, which then drain towards these entrances, leaving B2 inactive (PHASE 3).

(4) As in the present situation the new sump is opened at about 4 m below B3, in correspondence with the lowering of surface of the adjacent flat zone. In the depression drained by B7, the unevenness between the entrance and the flat bottom of the depression is still somewhat greater, approximately 8 m and the water enters below the blocks choke of that entrance (PHASE 4).

(5) Between phases 1 and 4 the total surface lowering could have been approximately 20 m or more. It seems reasonable to postulate that such rock removal, together with the backward movement of the South escarpment, may have mechanically decompressed the entire area, thus producing the small B8 fault and perhaps tilting the entire block where the cave is towards the west. This can explain the lack of continuity of the galleries to the north of B8, a surprising fact given that once an important collector is formed it is not easy to explain its abrupt interruption lacking evidence of some major cause.

(6) The gallery that reaches the level -51 m (the only one that continues further N of the fracture of B8) suggests a relatively recent origin, having managed the capture and redirecting the drainage of the flattest zone of subsystem 1 towards subsystem 2.

(7) The drainage of the Connection gallery (level -53 m) also seems to be recent, a result of the present concentrated entrance of water via two waterfalls opened in the middle part of this gallery.

Additionally, for subsystem 2 we can add the following notes:

(1) The affluent galleries located S of the collector came from galleries that previously extended further S and higher than the current position of entrances. They drained an old eroded surface.

(2) The skylights S3 to S6 appear to be relatively young.

(3) The water of the collector currently sinks towards a level lower than the River Gallery, which is still in formation.

(4) The subsystem 2 is hydrologically continuous with subsystem 1. The capture of the drainage of the platform around S2 probably happened in an intermediate moment between phases 1 and 4, when lowering of the surface and decompression allowed the interception of the fractures of that zone with the water circulation level.

(5) From the start the establishment of underground circulation must have required a low spring zone and a zone of vertical fractures. The circulations may have been gradually facilitated as the decompression of the massif progressed.

(6) The progressively lower E4, E3, E1 suggest that the backward movement of the external wall may be larger in the west and lower

in the east. It is probable that this central section of the wall was previously closer in orientation to an E-W line, and that it was slightly further south than B1.

(7) When the formation of the cave began, the total catchment area probably constituted an old surface at the current elevation of the top of the present buttes. The gradual surface lowering left these hills isolated and probably it generated edge steps. The introduction of a vertical difference in the excavation of the relief caused the capture of the drainage of different platforms through sumps that concentrated the underground flow.

(8) While the cave system evolved extending the network of galleries, surface lowering created new depressed areas. The backward movement of the south wall removes the higher and older parts and reorients the wall towards its present NW-SE direction.

(9) The progression of surface erosion decompresses the edge zones causing the mechanical opening of new fractures that will be progressively used by water. Given this scheme, we can imagine the tilting of edge blocks that would produce the B8 fault and the formation of long fractures in S1 and S2.

(10) Finally, we want to indicate that the entire system may have evolved with one old spring at the present level -70 (or near it), and more recently it may have canalized the flow towards the present springs at the base of the wall. This zone of vertical fractures would then be young and still experiencing processes of piping and growth of conduits. We cannot assure with certainty what really happened but only try to put forward a hypothesis that we consider probable.

This evolutionary scheme suggests a progressive capture of surface water, but simultaneously, the dismantling and disappearance of old surfaces that also could have been more extensive.

In the areas located above the network of the passages, the erosion and surface lowering has stopped or slowed down. Vertical infiltration has progressed at the expense of the joint system. In the areas adjacent to the network of the galleries, however, infiltration does not exist, and the reduction may continue, thus flattening and depressing the surface. These subflattened basins are captured by the underground network at the expense of stratification planes, having elevated the underground volumes, and facilitating the weathering of greater volumes of rock and the formation of a greater numbers of conduits and galleries.

The cave passages are developed from planes or routes of water penetration that take advantage of the existence of lithologically weak outliers, but also relate to local structure and prevailing mechanical conditions in the tepuy edge zone.

Local karstification processes or formation of cave passages in quartzite coexist with surface evolution during which normal erosion reduces the adjacent land, carving and dissecting the relief of the area, and probably retreating the external escarpment, causing the disappearance of the oldest parts of the system.

Origin and age of cave formation

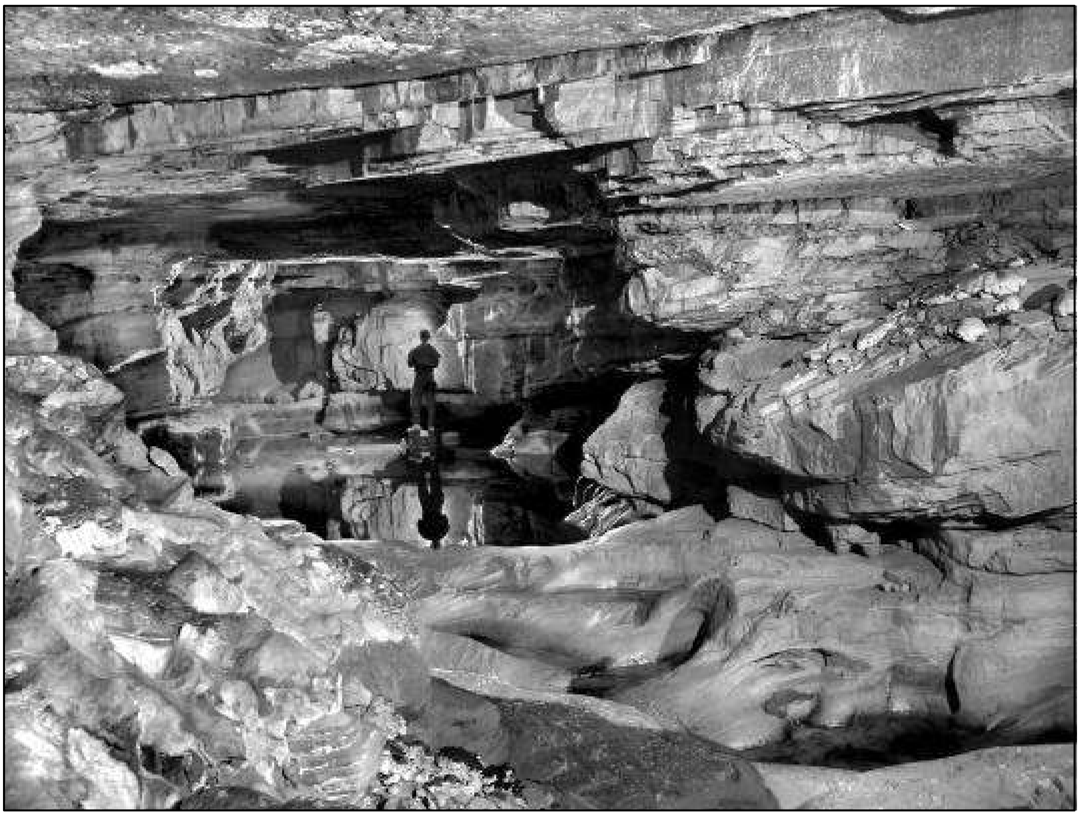
The processes of weathering of the quartzite relates to the time of residence of water in the porous media and the rate of flow and renovation. The greater the amount of water and contact time between the rock and the water flow, the greater will be the dissolution of the intergranular siliceous cement. The piping process with the evacuation of sand grains and detritic fragments is facilitated in the zones of larger and concentrated water flow.

If we consider that the surface lowering in quartzite of Roraima averages an order of 2 m per million years (GALÁN 1988, 1991, SCHUBERT & HUBER 1989) and that in subsystem 1 the highest gallery (*Galería Oeste*) is located at 20-30 m over the main active entrances (B3, B7, S2), such gallery —probably the oldest of the system— could have formed more than 10 million years ago. But the age of the beginning of the system formation may be considerably older (several tens of millions of years), having disappeared part of the network due to surface erosion.

TWith This theoretical estimate gives a rough idea of the required time to form this cave system. MARTINI (1984) has shown for some South African caves that disintegration of quartzite can take place in 2 million years, and that piping —if the conditions are



Waterfalls along the Galería del Río (Photo: R. Carreño).



Aspect of last section of the *Galería Central* in subsystem 1 (Photo: R. Carreño).

siliceous cement (Martini 1982, Urbani 1986). Also it has been indicated that the cavities are located frequently in edge zones, but in theory, they can form in almost any place where the structural conditions (joints) or bedding canalize the underground water flow (Briceño & Schubert 1992). In this theoretical scheme, the vertical extension of the cavities seems to be controlled by the systems of fractures, whereas the horizontal ramifications would be controlled by stratigraphic factors. Obviously, this is what can be appraised in the existing cavities once formed, but is not clear how the underground flow originates and becomes established during its initial phases. The stratigraphic factors in these caves guide the development of the system in addition to the smooth dip opposed to the edge of the tepuy and to the preferential excavation of thinly layered and fine grained quartzite packages, the presence of centimetrical interlayers of shale and siltstone must have played a greater role. Due to the very low solubility of quartz and especially to its extremely low rate of dissolution, it may act upon not only through joints but also intergranularly (Urbani 1986), allowing the transformation of the compact rock to a friable one. On finer grained rocks a smaller volumetric dissolution of the cement is not only enough so that the individual grains lose their cohesion, but that, due to their small size, smaller channels are sufficient to evacuate detritic fragments.

favorable— is faster still. On the other hand Schubert (1984) has noted the existence of paleoclimatic fluctuations in the late Tertiary and the Pleistocene, with alternating arid and humid phases. Climate plays a determining role in the erosive processes. The amount of precipitation contributes not only to the chemical degradation of the rocks, but also in the sand grain removal. The water and the force of gravity act as chisels that have modeled the tepuys (Briceño & Schubert 1992). Water exhibits a preference in dissolving the siliceous cement that join the sand grains of the quartzite, producing a porous, permeable and friable material, mainly resulting in loose sand easily carried away by run-off.

In the evolutionary hypothesis of Schubert (1984), mechanical erosion predominated during the arid phase, which lowered the surface of the plateaus and increased the verticality of its walls; during the humid phase, the chemical erosion predominated, dissolving rocks and clearing the topography. The latter case corresponds to the present situation. Since we do not know the magnitude and duration of the arid and humid periods during the last million years, the rates of stripping and dissolution (on the surface and endokarst, respectively) could have been smaller or greater than the proposed average value, and, therefore, the age of formations may be either over- or underestimated.

It has been suggested that the cave formation in the quartzite of Roraima takes place by mechanical removal (piping) of sand grains, after undergoing processes of partial dissolution of the

Thus, in the earliest phases of the process, the siltstone interlayers turn out very effective in establishing the underground drainage. Once established the disintegration of the adjacent rock will be able to progress under phreatic conditions around water penetration routes. The continuation of the process extends the piping to fine grained quartzite and as underground water becomes more discretely channelized the process makes possible the excavation of conduits and galleries that may perforate the entire stratigraphic sequence.

The final direction of the underground drainage is controlled by a sum of factors (topographic, hydrological, lithological and structural), and particularly by the position of the sources. Like in classic karst in limestone, the structure created by the underground drainage differs considerably from the fracture pattern at the initial

stages (Galán 1991). The central aspect in the evolution of the system appears to be the achievement of water infiltration that would manage to create preferential ways to interconnect the source zones with those of springs. In this plot the weaker and lithologically friable layers constitute the zones that oppose less resistance to the circulation of water. The spatial location of these zones, with respect to the springs condition the start of the process.

CONCLUSIONS

This cave is of great scientific interest due to its diversity of forms. It also establishes a world record for karst in quartzite. The singular shape of tepuys shows extensive primarily impermeable zones next to others intensely karstified, although the same type of rock seems to be involved in both cases. This is a remarkable difference with classic karst in limestone.

It demonstrates that karstification and cave formation in quartzite does not follow a simple model. A series of factors acting together is necessary to result in cave formation. The absence of these factors will result in the predominance of surface erosion and caves will not form.

Although we understand how the process of weathering and intergranular dissolution of the siliceous cement in the quartzite acts (so the compact rock becomes friable), and the processes of piping and extension of conduits once established the underground drainage works (Martini 1981, Urbani 1986, Galán & Lagarde 1988, Galán 1991), we cannot say that we completely understand the origin of karst in siliceous rocks, at least not in the degree of detail that we understand it in classic limestone karst.

The discovery of this system offers new insight to continue advancing the knowledge in the field. In particular, Roraima Sur System shows the need of a series of conditions and factors (hydrogeological and stratigraphic), which rarely coexist. In addition, the surface physiography can either facilitate or make difficult the karstification.

Further understanding of these processes promises to be useful in a variety of applications. For example, it can aid in exploring the potential permeability of diverse areas or the characteristics that govern the location of cavities. These investigations can also help orient future underground prospecting of new cave systems and drainages in tepuys a phenomena that seems quite more common than once suspected. An ample field is thus open to future explorations.

ACKNOWLEDGEMENTS

To all the members of the SVE that participated in the explorations of the system and to the members of the Oxford University Cave Club and Sociedad de Ciencias Aranzadi that collaborated in some of them. To Franco Urbani for an early review of the manuscript. In short, to all those with whom we shared hours of cold, effort, enthusiasm and patient topographic work.

REFERENCES

Briceño H. & C. Schubert. 1992. Geomorfología. En O. Huber (ed.) *El Macizo de Chimantá, Escudo de Guayana, Venezuela*. O. Todtmann Editores, Caracas, pp. 61-74.

Carreño R., W. Pérez, C. Galán, F. Herrera, J. Astort, F. Blanco, O. Villareal, I. Del Cura, M. Pérez & G. García. 2004. Los 6, 1 km de la Cueva Roraima Sur, estado Bolívar: La cueva de mayor desarrollo en rocas cuarcíticas. *VII Jornadas Venezol. Espeleol. UCV, Caracas*. Publicado en *Bol. Inf. Com. Geoespeleología*, FEALC, 55: 27-28, 2005.

Galán C. 1988. Cavernas y formas de superficie en rocas precámbricas del Grupo Roraima (Guayana Venezolana). *Bol. Soc. Venezolana Espeleol.* 23: 1-12.

Galán C. 1991. Disolución y génesis del karst en rocas carbonáticas y rocas silíceas: un estudio comparado. *Munibe* (Ciencias Naturales), Soc.Cienc.Aranzadi, 43: 43-72.

Galán C. & F. F. Herrera. 2004. Génesis de la cueva Roraima Sur, Venezuela: la mayor cavidad del mundo en cuarcitas. *VII Jornadas Venezol. Espeleol. UCV, Caracas*. Publicado en *Bol. Inf. Com. Geoespeleología*, FEALC, 55: 21-22, 2005.

Galán C. & J. Lagarde. 1988. Morphologie et évolution des cavernes et formes superficielles dans les quartzites du Roraima. *Karstologia* 11-12: 49-60.

Martini J. 1981. The control of karst development with reference to the formations of caves in poorly soluble rocks in the eastern Transvaal, South Africa. *Proc. 8th Inter. Congr. Speleol.* 1: 4-5.

Martini J. 1982. Karst in Black Reef and Wolkberg Group quartzite of eastern Transvaal escarpment, South Africa. *Bol. Soc. Venezolana Espeleol.* 10(19): 99-114.

Martini J. 1984. Rate of quartz dissolution and weathering of quarzite. *Bull. South African Speleol. Assoc.* 25: 7-10.

Schubert C. 1984. Orígenes geológicos de la Gran Sabana. Paleoclimatología cuaternaria de la cuenca. En C. Galán (ed.). *La Protección de la cuenca del río Caroní*. CVG-Edelca, Div. Cuencas e Hidrología, Caracas, pp. 40-45.

Schubert C. & O. Huber. 1989. *La Gran Sabana: Panorámica de una región*. Cuadernos Lagoven, Caracas, 107 pp.

Urbani F. 1977. Novedades sobre estudios realizados en las formas cársicas y pseudocársicas del Escudo de Guayana. *Bol. Soc. Venezolanaa Espeleol.* 8(16): 175-197.

Urbani F. 1981. Karst development in siliceous rocks, Venezuelan Guiana Shield. *Proc. 8th Inter. Congr. Speleol.* 2: 548.

Urbani F. 1986. Notas sobre el origen de las cavidades en rocas cuarcíferas precámbricas del Grupo Roraima, Venezuela. *Interciencia* 11(6): 298-300.

SOBERANÍA ESPELEOLÓGICA: ¿COMPETIR O COMPARTIR HALLAZGOS BAJO TIERRA?

Rafael Carreño B.
Sociedad Venezolana de Espeleología (SVE)
Federación Espeleológica de América Latina y el Caribe (FEALC)
Apartado 47.334, Caracas 1.041-A
rafaelcarreno2004@yahoo.es

Recibido en junio de 2005

La espeleología es una joven rama de la ciencia que se encarga de explorar, estudiar y proteger el patrimonio subterráneo constituido por cuevas horizontales y simas verticales, que se hallan en los karsts, es decir en terrenos de roca agrietada y relativamente soluble por el agua. Los espeleólogos abordan tres áreas principales: la bioespeleología, la geoespeleología y la antropoespeleología, además de la imprescindible topografía de las cavernas. Este ecosistema favorece el desarrollo de fenómenos ambientales únicos, que permite a los especialistas realizar frecuentes y notables hallazgos, sobre todo en países poco explorados de Latinoamérica y del gran Caribe. Durante el trabajo que algunos desarrollan fuera de sus fronteras, los espeleólogos de otras nacionalidades pueden inspirar ciertas diferencias que analizaremos a continuación.



Como en todo fenómeno social, dentro de la disciplina de la espeleología existen diversas culturas organizacionales que difieren de un país a otro. En la actualidad observamos que aquellos espeleólogos que tienen mayor rendimiento topográfico y mayores órganos editoriales, gracias a cierta abundancia de recursos, se instituyen poco a poco como una especie de autoridades supranacionales que filosofan acerca de lo que sería adecuado para esta ciencia en otros continentes. En esa dinámica los exploradores de los países desarrollados gozan de ciertas ventajas debido a su credibilidad como actores de «categoría internacional», y dichas ventajas se reflejan en su trato con colegas de otros lugares del globo.

Durante las expediciones extranjeras en Latinoamérica y en todo el mundo, los visitantes tienen la responsabilidad de comunicarse previamente con la entidad nacional y con el delegado nacional ante la Unión Internacional de Espeleología (UIS), para tramitar la realización de una expedición binacional. Esto no siempre ocurre y a veces sucede que los espeleólogos locales más experimentados y aquéllos que han sido elegidos en asambleas para representar su comunidad nacional, toman conocimiento de la visita de algún grupo foráneo después de que la expedición se consuma y por medio de informaciones recibidas indirectamente. El enterarse a destiempo ha vuelto a ocurrir recientemente en varios países del área y desgraciadamente no se trata de una casualidad, ni de casos aislados, sino que ello se viene repitiendo desde hace muchos años. No es necesario insistir en los detalles y más bien hay que develar algunas tendencias generales de este proceder.

En algunas ocasiones pareciera que la inconformidad de los exploradores nacionales perdiera vigencia cuando se envían las correspondientes topografías por correo y se remiten unos cuantos boletines relativos a los resultados al país visitado. Sin embargo, y por más que se quiera simplificar, la situación es más compleja, ya que el asunto producirá una relación de desconfianza que afectará los futuros contactos. La opinión de los espeleólogos locales debe consultarse mucho antes del evento -no sólo a última hora- y estando dispuestos a que las decisiones se tomen conjuntamente con la comunidad espeleológica nacional. De otro modo una simple notificación mostraría una acción unilateral. De hecho, en nuestras tierras el unilateralismo no se ha limitado a los

asuntos geopolíticos o económicos, sino también se expresa sutilmente en las relaciones entre organizaciones ambientalistas no-gubernamentales.

A veces las actividades aparentan ser eventos compartidos porque en ellas se involucra a invitados nacionales de otras disciplinas científicas, naturalistas o espeleístas ocasionales que no son formalmente espeleólogos, con lo que pareciera ocurrir un trabajo binacional, pero este inadecuado proceder es fácilmente detectable por los entes dedicados al subsuelo, que saben quiénes son los espeleólogos y los grupos comprometidos en las buenas y en las malas. Cuando la representación nacional es débil las decisiones tomadas en el campo, abierta o encubiertamente, aparentan ser asumidas entre ambos grupos, pero llegan a ser fácilmente inducidas por los extranjeros. Ello puede tener repercusiones diversas, como por ejemplo, enturbiar las relaciones con las autoridades gubernamentales o indígenas, pudiendo desembocar en que se cierre el acceso de un karst para cualquier otro espeleólogo que intente visitarlo posteriormente. Mientras tanto, el viajero ni siquiera se entera de las trabas que deja a su paso.

La representación científica de un país tampoco debe delegarse a los promotores del turismo o a los adeptos de adrenalina que gustan de las exploraciones «extremas», ya que unos y otros terminarán avalando complacientemente cualquier proceder de la expedición extranjera con tal de ser incluidos en una próxima oportunidad. En general quienes no demuestran mística en la exploración cotidiana, quienes no mezclan el sudor con el barro en arrastraderos poco promisorios, son los que tendrán escaso compromiso cuando asistan a las más atractivas actividades y ello es más cierto en la medida en que se disponga de recursos, ya sea de transporte en helicóptero, o sea de cobertura de video documental. En general cuando se involucran canales de televisión u otros reconocidos patrocinantes, los oportunistas estarán más atentos a aprobar cualquier proceder a fin de recibir fama, cuerdas, equipos de campamento o una paga. Ello recuerda el trueque del cultural, genético o mineral; para exigir la presencia de los especialistas locales por razones de interés nacional y de soberanía. En base a este último concepto se puede llegar a poner en práctica el desalojo de las operaciones unilaterales por medio de las autoridades policiales o militares, como ya ha ocurrido en Brasil, Cuba, Venezuela, México o en otros países. Sin embargo, es preferible evitar dicho extremo, ya que resulta desagradable para ambas partes, más aún cuando los involucrados participan en calidad de voluntariado.

Aunque todavía no se contemple la importancia de la espeleología dentro del tema de la soberanía nacional, en algún momento se considerará que los asuntos sensibles para las próximas décadas también tienen que ver con el ámbito subterráneo. Esto será particularmente cierto a medida que se incremente la avidez por los abundantísimos recursos biológicos y minerales de toda nuestra región, o cuando realmente empiece a escasear el agua a nivel mundial, tal como alertan los climatólogos. En aquel momento las exploraciones espeleológicas transoceánicas se entenderán de distinta manera, ya que una parte de nuestro patrimonio natural se halla en los karsts. Las actuales expediciones



inconsultas serán vistas en el futuro como una interesada avanzada que analiza los principales recursos que más apetecen los industriales de otros continentes. Es decir, debemos abandonar aquella ingenua percepción de que las cuevas serían un simple amasijo de barro, piedras y oscuridad.

Hay que reconocer que en nuestra disciplina ocurre lo mismo que en otras ramas del saber: los datos primarios fluyen mayoritariamente desde los países megadiversos -léase Latinoamérica- hacia los centros de mayor predominio económico. Tal vez nos enteremos de lo que existe en nuestro subsuelo cuando tengamos que pagar regalías o patentes por viejos descubrimientos olvidados por todos, donde nuestros países sólo fueron el escenario donde se extrajeron estratégicas materias primas.

El retorno de la información recabada en el Neotrópico y procesada fuera de nuestra región suele ser tan escaso que muy pocas veces los autores envían suficientes impresos a los grupos latinoamericanos como para depositar, al menos, en varias bibliotecas nacionales o en bibliotecas universitarias de los países explorados. Podríamos consolarnos con el avenimiento del internet como herramienta de consulta, pero ese consuelo sólo sería válido si al menos el 10% de la población tuviera acceso a esa fuente de información, cosa que no ocurre en países del sur. Estas situaciones generan cierta dependencia, cuando los estudiantes desean consultar algo -por ejemplo el catastro espeleológico- y deben recurrir a entes de otras naciones para obtener los datos de su propio país. Este desbalance en las relaciones explorativas, investigativas y divulgativas no podrá revertirse a corto plazo si ambas partes –los visitantes y los espeleólogos nacionales no se ponen de acuerdo-, pero al menos se debe exigir a los visitantes que apoyen en el fortalecimiento de la espeleología en el tercer mundo, aquélla que no es una «espeleología tercermundista».

Hay que aclarar que lo que los nativos suelen criticar no es el avance de la ciencia impulsado desde otras latitudes -aspecto que no negamos a los visitantes, y que abiertamente valoramos y agradecemos- sino que objetamos las actitudes impuestas y el intervensionismo de hecho que a veces ocurre a espaldas de la



espeleología nacional. El avance de la ciencia no puede justificar ciertos procesos de exclusión evitables.

Tampoco debe continuar la direccionalidad foránea, cuando todos los parámetros de una expedición son seleccionados desde afuera como por ejemplo: las fechas del viaje, el destino geográfico, las prioridades, la autoría de las publicaciones, la extracción de muestras de laboratorio, e incluso se llega a decidir desde ultramar cuáles son los interlocutores locales que son válidos para participar como contraparte nacional. En ese último caso, los extranjeros buscan en el sur a los interlocutores más complacientes o los que no conozcan la relevancia ulterior de las expediciones. Esto ha ocurrido porque a veces los espeleólogos de Latinoamérica no han sabido reclamar activamente su derecho a participar, o incluso algunos ni siquiera han entendido que esa participación nacional en las expediciones no es un favor dadivoso, sino que constituye un auténtico derecho. Siempre que se vaya a pisar terreno virgen, como ocurre cotidianamente en actividades subterráneas, debe estar presente un espeleólogo del país.

En los casos cuando todo lo decide quien sufraga el costo del viaje, resulta fácil imaginar cuál de los dos lados es el que verdaderamente toma el control de la actividad: ese punto de vista materialista favorece a aquellos espeleólogos provenientes de las economías más fuertes, y en la misma medida relega a experimentados espeleólogos locales, aunque trabajen en sus propios países. Por nuestra parte, consideramos que el aporte financiero de una labor transnacional es un argumento que debe ser considerado como parcialmente válido, pero ello no debiera constituir el único criterio a tomar en cuenta. Todavía subyace aquella actitud decimonónica en la que los ambientalistas pudientes virtualmente compraban los descubrimientos en el Neotrópico.

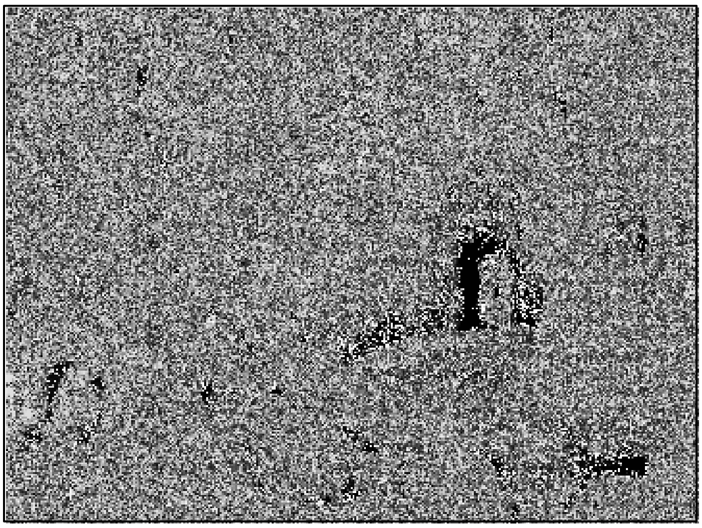
En ciertas oportunidades la fortaleza económica de una de las partes ha inducido a una paradójica inversión de los papeles: los visitantes llegan a un país y son ellos los que «invitan» a los nacionales. ¿No va contra la lógica que los anfitriones vengan de fuera? Esto crea cierta relación incómoda frente a los exploradores del país visitado, que eventualmente no disponen de tantos recursos, y con el tiempo ello puede ocasionar la acumulación de mayores inconformidades. Obviamente esas diferencias no se mitigarán con el simple consuelo de contemplar, desde lejos, el avance de la ciencia.

En ese contexto el rol espeleológico de algunos países Latinoamericanos ha sido pasivo, precisamente cuando más necesitan compartir experiencias para impulsar sus incipientes agrupaciones nacionales; es el caso de varios países centroamericanos que tienen una institucionalidad espeleológica aún débil. En esas naciones económicamente pobres ha sido más fácil imponer condiciones ideadas fuera de la región, amparándose en las carencias materiales y en el escaso dominio técnico que adolecen algunos grupos emergentes. Pero aun en estos casos de desventaja la coparticipación sigue siendo justa y necesaria, tomando en cuenta los principios altruistas de la ciencia, pero sin derivar en el paternalismo ni fomentar una prolongada dependencia interinstitucional.

En el caso de las diferentes mega-expediciones realizadas en Latinoamérica, resulta difícil esperar que todos los extranjeros acepten el punto de vista de los nacionales y entiendan que ellos mismos no tolerarían -en sus propios países de origen- que se les impongan desiguales condiciones de trabajo. Seguramente en Europa y Norteamérica aceptarían grupos de Asia, África o de Latinoamérica en sus karsts, pero sólo si esta presencia fuera ocasional, si desarrollaran actividades intrascendentes, y, sobre todo, si no se concentraran en descubrir por sí mismos las mayores o más profundas cuevas del primer mundo. Contrario a ese hipotético escenario, los espeleólogos del sur no aspiramos a asumir ese rol colonial y competitivo -propio de la cultura postmoderna- que si se atisba entre los colegas del hemisferio norte.

Las prioridades de otras latitudes no pueden imponerse en aras de un supuesto progreso, ya que la cacería de records, el afán de superación mutua entre los grupos más famosos, o la búsqueda de localidades vírgenes -que tanto preocupan a los grupos de vanguardia- no necesariamente es lo que le preocupa a los espeleólogos del lado sur del planeta. Las incursiones organizadas a espaldas de los representantes nacionales suelen encubrir un elevado grado de competitividad, mientras los espeleólogos latinos no esperan competir, sino compartir bajo tierra, con un sentido más humanista y conservacionista. Para ello es necesario establecer lazos, ser flexibles y cooperativos.

Es hora de olvidar la ansiada acumulación del prestigio explorativo que buscan algunos colegas del norte y dar más atención a la búsqueda de una verdadera función social de la

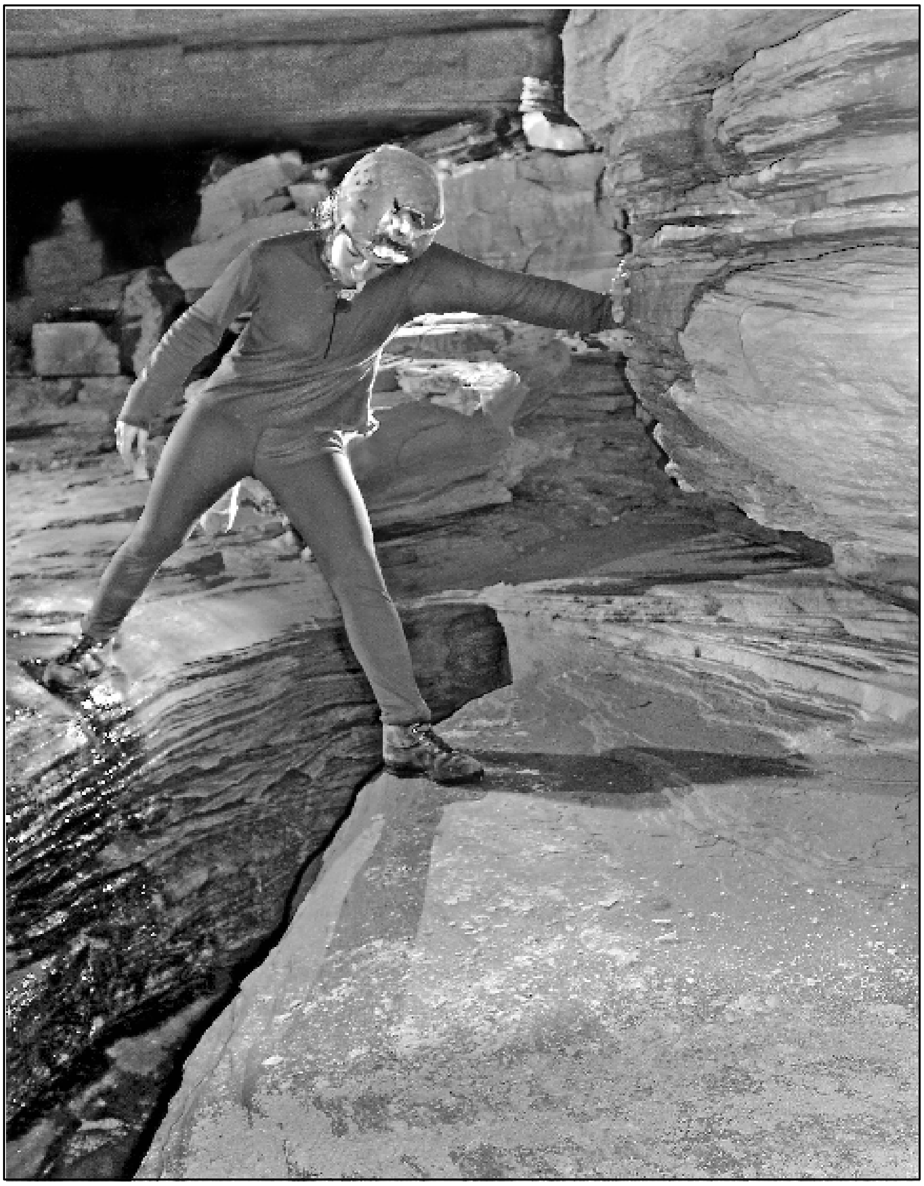


espeleología. ¿acaso una aventura alcanzada en verticales mejorará las condiciones de vida de nuestra ciudadanía? Debe haber algo mas allá del interés individualista cuando se busca la fama en cavidades bellamente decoradas de estalactitas. Entre otras cosas se debería, por ejemplo, estudiar nuevas fuentes de abastecimiento de aguas subterráneas para ayudar a campesinos de zonas desérticas que carecen de acueductos. Es decir, Latinoamérica hoy requiere ciertas dinámicas interinstitucionales -y otra cultura organizacional- filosóficamente muy distintas a la demostrada por la muy eficiente espeleología globalizada. Es cuestión de pensar en los motivos para una nueva espeleología. El ámbito mundial puede tener diferentes motivos que los del ámbito local, pero ninguno de los dos tiene una jerarquía superior. A esto se denomina respeto.

Esperemos que estas páginas no se interpreten como una crítica xenófoba ya que anteriormente, y con mucha frecuencia, en Venezuela y en otros países de la región hemos tenido la oportunidad y el placer de compartir muy amistosamente con respetuosos colegas de ultramar. Las presentes objeciones sólo se dirigen a algunos casos de unilateralismo. En nuestro ámbito de trabajo los que deben adaptarse y cambiar un poco más no son los espeleólogos del patio, sino cualquier explorador visitante. Los espeleólogos norteños, cuando llegan al sur, requieren amoldarse a las condiciones y opiniones que imperan en nuestras realidades, incluso cuando no estén totalmente de acuerdo con el proceder nacional.

A fin de cuentas en los países en vías de desarrollo los europeos y los norteamericanos encuentran los recursos que más apetecen: ....las cuevas vírgenes que hace tiempo van escaseando en sus países de origen.... Esas cuevas, que ellos hallan fácilmente junto con nosotros, en nuestra tierra, son el ingrediente imprescindible de la espeleología. Aunque parezca que los espeleólogos nacionales aporten poco, y aunque los viajeros aporten mayores insumos estratégicos para una expedición, nunca podrán ofrecer ese ingrediente primordial que los motiva a planear largos viajes.

Facilitar el ingreso en nuestras cuevas, ante cualquier visitante interesado, será el aporte del Neotrópico a favor de los visitantes que acepten compartir el trabajo subterráneo y la producción editorial en igualdad de condiciones. La tendencia de la espeleología latinoamericanista no promulga el aislamiento pero, aunque en el mundo parezcamos ser una voz minoritaria, entendemos que en el territorio que amamos otra espeleología es posible.



Bol. Soc. Venezolana Espeleol. 38: 65-68, 2004

NOTICIERO ESPELEOLÓGICO

VII JORNADAS VENEZOLANAS DE ESPELEOLOGÍA 2004

En diciembre de 2004 se desarrolló en Caracas la séptima edición de las Jornadas Venezolanas de Espeleología en la Escuela de Geología, Minas y Geofísica; dentro del marco de las Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela (UCV).

Los trabajos provenientes del extranjero fueron producidos por autores de España, Estados Unidos, Holanda, Cuba y Colombia, país vecino que por primera vez participa personalmente en nuestras actividades. Por otro lado algunos co-autores intervinieron indirectamente enviando información desde organizaciones de Perú, Reino Unido, Canadá y Estados Unidos; particularmente de las universidades de Birmingham, Montreal, Chicago, Illinois, Kansas, Iowa y Minnesota.

Entre las instituciones participantes destacaron las intervenciones auspiciadas por la Escuela de Antropología y la Escuela de Geología, Minas y Geofísica (ambas de la UCV); el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC); la Universidad de Los Andes (ULA), ACOANA, etc. Entre los grupos activos de exploración se contó con la asistencia del Centro de Espeleología de la UCV-Maracay, el Grupo de Exploración Científica Minas de Aroa, el Grupo CEIC-UCV y el Grupo GEO-UCV.

La principal primicia explorativa del evento fue la presentación del Sistema Roraima Sur, el cual por primera vez se presentó ante la comunidad espeleológica venezolana. Por otro lado, la selección del público asistente determinó que el trabajo de investigación aplicada más interesante resultó ser el desarrollado en el área paleontológica, tema que ha sido retomado durante las salidas de campo de los últimos años. Los resúmenes de estas Jornadas serán publicados en la próxima edición de este mismo *Boletín*, con excepción de los trabajos que para entonces se hayan publicado en forma de artículos extensos.

Las tres decenas de ponencias y carteles mostrados en esta ocasión reiteran el nivel investigativo existente en Venezuela, manteniendo el enfoque científico que ha caracterizado las tareas desarrolladas en el ámbito subterráneo durante décadas. Esto no sería tan significativo si no recordáramos que en el período transcurrido entre estas Jornadas de 2004 y las anteriores, realizadas en 2001, Venezuela vivió una muy difícil etapa de inestabilidad política y económica. La continuidad de esta labor espeleológica –no sólo ininterrumpida, sino también *ad honorem*- muestra la madurez de una pequeña comunidad de colegas que incondicionalmente asume un auténtico compromiso con el país.

A continuación la lista de la programación presentada en las tres principales áreas temáticas:

Sesión de Antropoespeleología (Moderadores: Kay Tarble y Luis Molina).

-Conferencia de apertura del evento en representación de la Federación Espeleológica de América Latina y el Caribe: Situación de las expediciones espeleológicas extranjeras en Latinoamérica, por R. Carreño.

-Las cavernas de la memoria: representaciones culturales de las cavernas durante el antiguo régimen, por E. Amodio.

-Alejandro de Humboldt: 1799-1800, precursor de la espeleología de Venezuela, por F. Urbani.

-Estado actual de los túneles de las minas de Cobre de Aroa, estado Yaracuy, por R. Carreño.

-Investigación arqueológica en la Cueva Agua Viva, estado Lara, por L. E. Molina.

-Edades de radiocarbono de tres localidades antropoespeleológicas de la Sierra de Perijá, estado Zulia, por F. Urbani.

-Contexto arqueológico y etnográfico del abrigo del Cerro Gavilán, estado Bolívar, por M. G. Montoto.

-Hallazgos de cerámica indígena en el abrigo del Cerro Gavilán (CEV Bo.77), Edo. Bolívar, por K. Tarble.

Sesión de Bioespeleología (Moderador: Francisco Herrera).

-Capacidad visual en los guácharos, por L. M. Rojas.

-Primer registro de la familia pelagornithidae (aves pelecaniformes) para Venezuela, por A. Rincón.

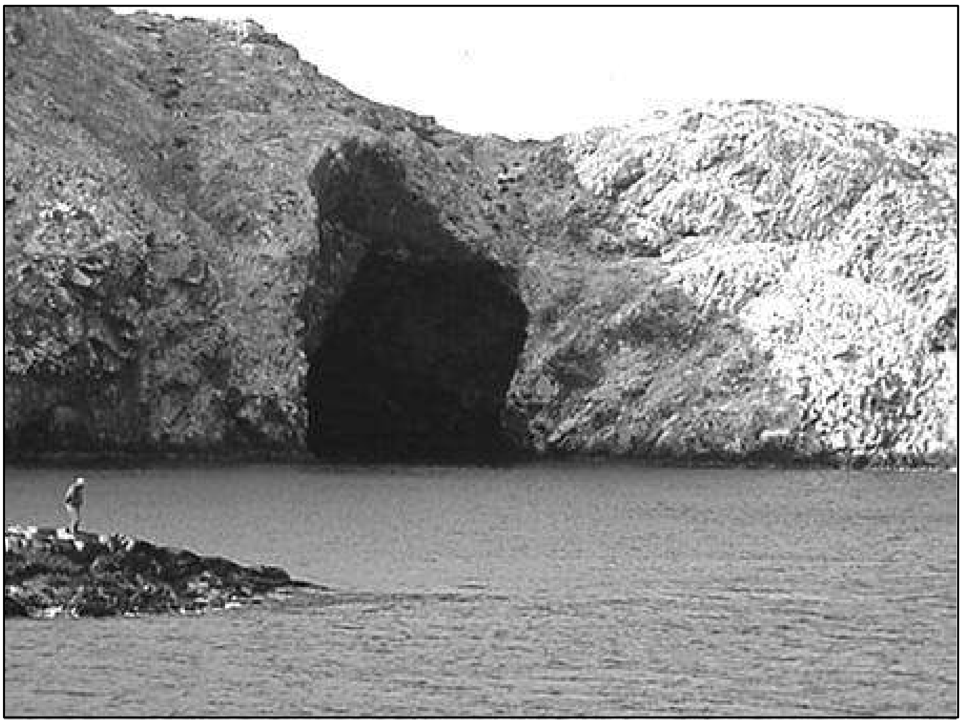
-Vertebrados fósiles en cuevas de Venezuela. Cueva Zumbador: un caso excepcional, por A. Rincón.

Sesión de Geoespeleología (Moderadora: Luz María Rodríguez).

-Génesis de la Cueva Roraima Sur, Venezuela: la mayor cavidad del mundo en cuarcitas, por F. Herrera.



Las Jornadas convocaron a exploradores y especialistas de diversos grupos, regiones y países, manteniendo vigente el intercambio informativo de la comunidad espeleológica (Foto: H. Salas).



Gran boca de la cueva El Encanto de Los Monjes (Foto: F. Urbani)

-Análisis mineralógico de espeleotemas del Socavón Albertos de la mina El Zancudo, Titiribí, Colombia, por E. Espejo.
-Caracterización de estalactitas provenientes de la mina Santa Isabel mediante espectroscopia mössbauer, por B. Colmenares.
-Los 6 km de la Cueva Roraima Sur: nuevo record mundial de desarrollo en rocas cuarciticas del estado Bolívar, por R. Carreño.
-Rasgos preliminares de las cavidades topografiadas en zonas kársticas de la Sierra de Perijá, estado Zulia, por L. M. Rodríguez.
-High resolution stable isotope paleoclimate records in Amazonian speleothems, por J. A. Estévez.

EXPOSICIÓN DE CARTELES

- Actividades del Centro de Espeleología UCV-Maracay, período 2001-2004, por E. Rodríguez.
- Actividades de la SVE, 2001-2004, por R. Carreño.
- Late glacial – holocene transition recorded in a northern Venezuela stalagmite, por L. González y otros.
- Traducción y revisión de varios documentos oficiales de la Unión Internacional de Espeleología (UIS), por R. Carreño.
- Revisión de 15 topografías de cuevas venezolanas publicadas en 1999, por R. Carreño.
- Nuevos hallazgos en la Cueva de Luis Piedra, Quivicán, La Habana, Cuba, por R. Arencibia.
- Exploraciones en cavidades inundadas de Cuba: antecedentes y panorama actual, por J. González.
- Primeras actividades topográficas en cuevas de Panamá, por K. Christenson.
-Cuevas andinas como refugios para murciélagos nectarívoros y su importancia para la conservación, por A. Ruiz.
- Conservación del sistema cavernario de Paraguaná (Edo. Falcón) y su quiropterofauna asociada, por J. Ochoa.

La coordinación de las Jornadas estuvo a cargo de Franco Urbani y Rafael Carreño, contando con el apoyo de un equipo de árbitros provenientes de diversas instituciones. Las palabras de clausura fueron ofrecidas por Joaquím Astort, quien sintetizó las motivaciones personales y sociales que subyacen en el voluntariado espeleológico. Para continuar la misma tradición, el VIII Congreso Venezolano de Espeleología está siendo convocado por la SVE para el año 2007, ocasión en la que paralelamente se desarrollará en Caracas la asamblea de la Federación Espeleológica de América Latina y el Caribe (FEALC).

CUEVA EL ENCANTO DE LOS MONJES. VISITA A LA ISLA LOS MONJES SUR

En el mes de septiembre de 2004 se tuvo la oportunidad de visitar la base naval establecida en las islas Los Monjes Sur del archipiélago de Los Monjes, ubicado en el Golfo de Venezuela. En los años 1980´s dos de las islas cercanas fueron conectadas por un rompeolas, con lo cual se formó un área resguardada de las fuertes olas, permitiendo por consiguiente construir una base fija de la Armada Venezolana y un puerto para embarcaciones pesqueras.

A mediados de los años 1970´s se realizó una visita por parte de un numeroso grupo de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales (SVCN). En la parte espeleológica, Eugenio De Bellard Pietri y Ramón Hernández realizaron un inventario de las diversas oquedades marinas.

La mayor cavidad se encuentra en la ensenada de la Base Naval, penetrando aproximadamente 30 m dentro del macizo rocoso y posee una amplia boca de más de 10 m de altura (Fig. 1). La cavidad fue desarrollada por el oleaje, a expensas de una zona de debilidad generada alrededor de una falla con una amplia zona de cizallamiento.

Por falta de tiempo no se procedió a su topografía, pero aquella publicada por la SVCN es a todas luces suficiente.

En lo que querremos ahondar es que en la publicación previa a la cueva se le bautiza como «Josefa Camejo», aparentemente a sugerencia del entonces Presidente de la República, Dr. Rafael Caldera quien visitara el sitio. Quisimos indagar sobre el nombre de la cavidad, y para ello preguntamos tanto al personal de la base Naval, como a los diversos pescadores, incluyendo a uno que indicó tener más de 40 años pescando en esas aguas. Todos coin-

cidieron que el nombre local es «El Encanto de Los Monjes», y ninguno conocía ni siquiera de referencia el de «Josefa Camejo».

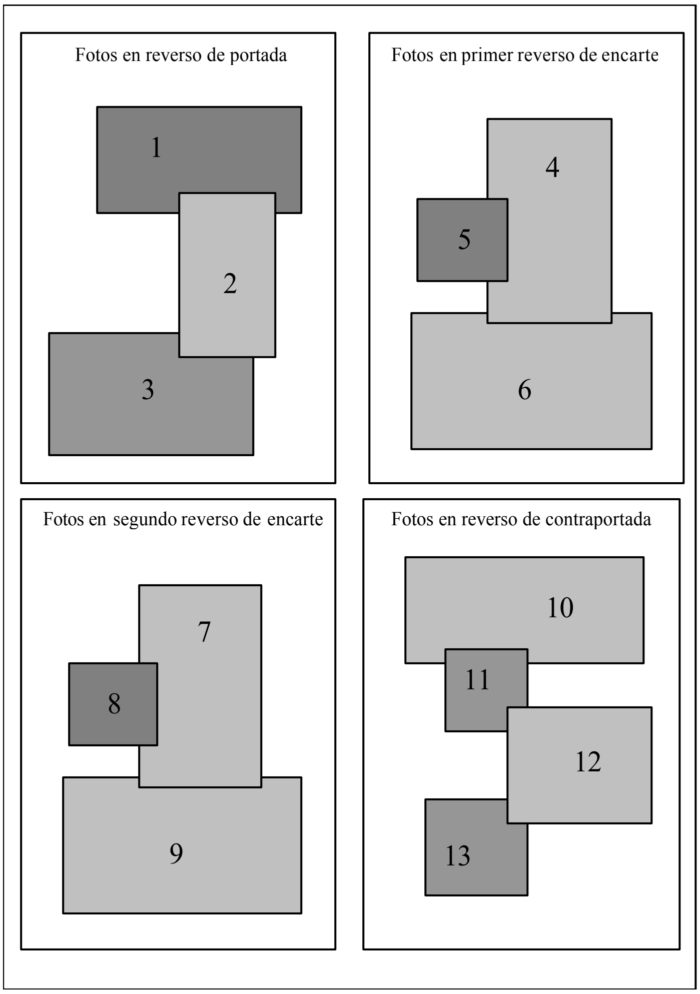
Con esto sólo queremos resaltar la importancia de mantener y respetar la toponimia local para los nombres de las cuevas que «descubrimos» en nuestras exploraciones, o adaptar aquellos nombres de topónimos cercanos, en caso de cavidades sin nombre propio de parte de los lugareños.

NUEVA DONACIÓN PARA LA COMUNIDAD PEMÓN

A finales del año 2004 la SVE aprovechó la salida con fines topográficos para apoyar la comunidad indígena de Paraitepuy, en la Gran Sabana, estado Bolívar. Allí se entregó un lote de 300 libros pertenecientes a la Biblioteca Básica Temática producida por el Ministerio de la Cultura. Esta colección consta de 20 títulos diferentes provenientes de autores venezolanos. Su pequeño formato está diseñado para permitir la familiarización de neolectores, dentro del Plan Nacional de Lectura que completa el proyecto inicial de la Biblioteca Familiar. El material impreso fue distribuido entre jóvenes y adultos de la comunidad en acuerdo con maestro local y Capitán Florencio Ayuso. Adicionalmente se distribuyó entre los alumnos de las misiones un lote de ropa, constituido mayoritariamente por franelas donadas por PDVSA. De esta forma se revierte un poco el trato convencional que esta comunidad suele tener con los visitantes.

COMENTARIOS DE LAS FOTOS A COLOR DEL PRESENTE NÚMERO

Nº 1. En varios puntos del Sistema Roraima Sur el agua se empoza ocasionalmente en depresiones poco profundas, durante el periodo de sequía, pero en los días de lluvia la corriente se restablece.
Nº 2. En algunas partes el agua fluye debajo de gruesas capas de arenisca, mientras que los niveles superiores, como el observado a la izquierda, hoy día constituyen redes de antiguas galerías fósiles.
Nº 3. La galería principal del Sistema Roraima Sur colecta las aguas superficiales, formando una red de galerías hidrológicamente activas de régimen permanente, cuyo nivel puede subir en ocasión de las mayores tormentas.
Nº 4. Cerca de las bocas es donde se observan los mayores canales verticales, que han servido a las aguas superficiales para profundizar en el interior del Sistema Roraima Sur.
Nº 5. Detalle de grillo sobre la roca caja desnuda a nivel del cauce, donde se observa la carencia de cualquier tipo de espeleotema o sedimentos.
Nº 6. En el sector aguas abajo (Galería del Río) es donde se hallan las mayores galerías del sistema, allí las aguas se concentran en cascadas y en pozas un poco más profundas.
Nº 7. El caos de bloques corresponde a estratos de roca que colapsaron cuando el agua socavó, en un nivel inferior, un antiguo laminador hoy desaparecido. Debido a la muy leve pendiente los clastos yacen sin mayor desplazamiento.
Nº 8. Formas de erosión en la roca caja de la galería principal, nótese que no se observan sedimentos en el cauce debido al drenaje que surca el Sistema Roraima Sur.
Nº 9. En algunos puntos del cauce el agua deja de discurrir en los planos superiores, para drenar bajo un estrato ubicado un par de metros más bajo.
Nº 10. Vista de un grupo de espeleotemas ubicadas a unos 200 m de la boca B 3, donde las estalactitas muestran similares grados de rotación, el cual está cerca de los 35°, nótese que no existe goteo. La longitud promedio de las estalactitas de esta foto es de unos 12 cm.
Nº 11. Detalle de estalactita de pocos centímetros de largo, engrosada debido a la presencia de algas, hongos y/o bacterias, observada a unos doscientos de metros de la boca principal.
Nº 12. Pared en el sector río abajo del Sistema Roraima Sur cubierta con espeleotemas sobre las cuales se observan algunas telarañas. Cuando las protuberancias crecen se desarrollan estalactitas en los puntos sobresalientes, donde más influye la humedad ambiental.
Nº 13. Estalactitas desarrolladas en una galería ventilada, la unidad de la izquierda está muy inclinada hacia la izquierda, mientras que la del centro ha crecido casi verticalmente.



INDICE

GEOESPELEOLOGÍA

Geomorfología e hidrología del Sistema Roraima Sur, Venezuela, la mayor cavidad del mundo en cuarcitas: 10,8 km
Carlos GALÁN, Francisco HERRERA & Rafael CARREÑO 2

Génesis del Sistema Roraima Sur, Venezuela, con notas sobre el desarrollo del karst en cuarcitas
Carlos GALÁN, Francisco HERRERA & Joaquim ASTORT 17

Observaciones sobre las espeleotemas del Sistema Roraima Sur
Rafael CARREÑO & Franco URBANI 28

CATASTRO ESPELEOLÓGICO DE VENEZUELA 34

Bo.93 – Sistema Roraima Sur

TÓPICOS ESPECIALES

OUCC-SVE Roraima 2004-5
Keith HYAMS 42

Notas sobre la exploración del Sistema kárstico de Roraima Sur, estado Bolívar
Rafael CARREÑO & Francisco BLANCO 45

Roraima Sur System, Venezuela: 10.8 km, world's longest quartzite cave
Carlos GALÁN, Francisco HERRERA, Rafael CARREÑO & María A. PÉREZ 53

Soberanía espeleológica: ¿competir o compartir hallazgos bajo tierra?
Rafael CARREÑO 61

NOTICIERO ESPELEOLÓGICO 65



Boca (E 1) del Sistema Roraima Sur (Bo.93), ubicada sobre la pared oeste del tepuy (Foto: F. Herrera)

Dirección de la sede:
SOCIEDAD VENEZOLANA DE ESPELEOLOGIA
Av. Caurimare, Residencias Yoraco, sótano LE,
Colinas de Bello Monte, Caracas.
(Reuniones todos los miércoles de 7 a 10 pm)

Dirección postal:
Sociedad Venezolana de Espeleología
Apartado 47.334, Caracas 1041-A, Venezuela.
Teléfono: (212) 730.64.36 Fax: (212) 272.07.24
Correo-e: svespeleo@cantv.net

Los artículos de este *Boletín,* dependiendo de su contenido, aparecen indizados en las publicaciones indicadas a continuación: *Speleological Abstracts* de la Unión Internacional de Espeleología, Suiza; *Bibliography and Index of Geology* y *Georef* del American Geological Institute; *Geo Abstracts* de Elsevier, Holanda; *Current Geographical Publications* de la American Geographical Society; *Mineralogical Abstracts*, Inglaterra; *Zoological Record*, Biosis, Inglaterra; *Bulletin Signalétique*, Centre National de la Recherche Scientifique, Francia; *Antropológica*, Fundación La Salle, Caracas, Plataforma Scielo, Fundasinadib.

El ***Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología*** se publica anualmente por los miembros de la misma en Caracas, D.F., Venezuela. El *Boletín* está abierto a todos aquellos trabajos de interés espeleológico, particularmente de la región neotropical. Los originales para publicación, catastro, revisión de libros y bibliografías, deben enviarse a la Comisión Editora, habiendo seguido, previamente, las pautas expuestas en las «Instrucciones a los autores», que aparecen en la última página de este *Boletín.* Todos los originales y correspondencia deben enviarse a:

Comisión Editora, Sociedad Venezolana de Espeleología

Apartado 47.334, Caracas 1041 A, Venezuela

La Comisión Editora agradece a los siguientes árbitros por su participaron en la revisión de los artículos de los boletines Nº 37 y Nº 38: Storrs Olson (Smithsonian Institute), Eduardo Tonni (Museo de La Plata, Argentina), Rafael Gasson (IVIC), Greg McDonald (Nacional Park Service, EEUU), Erika Wagner (IVIC), Alfredo Carlini (Universidad Nacional de La Plata, Argentina), Sebastián Grande (UCV) y Manuela Billaudot.

El *Boletín* es gratuito para todos los miembros que se encuentren al día en sus cuotas. El costo de un ejemplar es de US$ 15, incluyendo los gastos de envío al extranjero. Toda información concerniente a suscripciones debe ser solicitada a la Sociedad Venezolana de Espeleología, Apartado 47.334, Caracas 1041-A, Venezuela o por fax al (58-212) 272.07.24.

Los costos de edición de la versión electrónica de este boletín han sido subvencionados por la Gerencia de Proyectos de Investigación y Desarrollo del Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT)

Diagramación: Yelitza Velásquez
Impreso en Gráficas León S.R.L. en diciembre de 2005
Separación de colores: Fotolito Tamarit, C.A.
Depósito legal: pp. 196703DF15 (Biblioteca Nacional, Caracas).
ISSN 0583-7731

Portada: Galería del Río, Sistema Roraima Sur (Bo.93). Esta cueva constituye la caverna en arenisca de mayor desarrollo en el mundo con sus 10.820 m.

Foto: Rafael Carreño